Vol. XVI 31. 10. 1960 No 1

HYDROBIOLOGIA

Série A, N° 835 N° d'ordre: 861

Thèses

présentées

A la Faculte des Sciences

de

L'Université de Paris

pour obtenir

Le titre de Docteur de l'Université
(Mention Sciences)

par

GISÈLE FARRUGIA née FOUGEROUSE

1ère THESE:

Contribution à la connaissance de l'origine, du métabolisme, et des propriétés biologiques, pour les Algues, des sels minéraux et composés organiques dissous dans les collections d'eau naturelles stagnantes.

2ème THESE:

Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 22-11-1958 devant la Commission d'Examen

Président:

Monsieur le Professeur FELDMANN

Examinateurs:

Monsieur le Professeur MOYSE
Monsieur le Professeur GUINOCHET
Monsieur le Professeur VILLERET (invité)

UITGEVERIJ Dr W. JUNK — DEN HAAG — 1960

Série A, N° 835 N° d'ordre: 861

Thèses

présentées

A la Faculte des Sciences

de

L'Université de Paris

pour obtenir

Le titre de Docteur de l'Université
(Mention Sciences)

par

GISÈLE FARRUGIA née FOUGEROUSE

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

1ère THESE:

Contribution à la connaissance de l'origine, du métabolisme, et des propriétés biologiques, pour les Algues, des sels minéraux et composés organiques dissous dans les collections d'eau naturelles stagnantes.

2ème THESE:

Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 22-11-1958 devant la Commission d'Examen

Président:

Monsieur le Professeur FELDMANN

Examinateurs:

Monsieur le Professeur MOYSE
Monsieur le Professeur GUINOCHET
Monsieur le Professeur VILLERET (invité)

162

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS
-PROFESSEURS-

DOYEN ..... J. PÉRÈS

G. JULIA	T Analyse sup. & Alg. supérieure.
FOCH	T Méc. physique & expérimentale.
PAUTHENIER	T Electrotechnique Gle.
DE BROGLIE	T Théories physiques.
PRENANT	T Anatomie et Histologie comparées.
GARNIER	T Géométrie supérieure.
PERES	T Mécan. des fluides et applications.
LAUGIER	T Physiologie générale.
M. CURIE	T Physique (S.P.C.N.).
BARRABE	T Géol. struct. & Géol. appliquée.
G. DARMOIS	T Calcul des probabil. et Physique Math.
J. BOURCART	T Géogr. phys. & Géol. dynamique.
PLANTEFOL	T Botanique.
GRASSÉ	T Evol. des êtres organ.
PREVOST	T Chimie organique.
BOULIGAND	T Appl. de l'analyse à la Géométrie.
CHAUDRON	T Chimie appliquée.
WYART	T Minéralogie.
TEISSIER	T Zoologie.
MANGENOT	T Biologie végétale.
P. AUGER	T Physique quantique et Relativité.
MONNIER	T Physiol. Gle.
PIVETEAU	T Paléontologie.
ROCARD	T Physique (E.N.S.)
H. CARTAN	T Mathématiques (E.N.S.)
LAFFITTE	T Chimie Générale.
FAVARD	T geométrie supérieure.
COULOMB	T Physique du Globe.
MLE COUSIN	T Biologie animale (S.P.C.N.)
CHRETIEN	T Chimie minérale.
P. DRACH	T Zoologie.
KASTLER	T Physique.
EPHRUSSI	T Génétique.
WURMSER	T Biol. physico-chimique.
RIVIERE	T Géologie (S.P.C.N.).
GAUTHERET	T Biol. Végétale (P.C.B.).
LUCAS	T Recherches physiques.
A. THOMAS	T Biologie cellulaire.
ARNULF	T Optique appliquée.

M. Morand	T Enseignement de Phys.
Soleillet	T Physique.
Fortier	T Mécanique expér. des fluides.
Danjon	T Astronomie.
Laporte	T Phys. générale & Radioactivité.
Janet	T Mécan. anal. et Mécanique céleste.
Petit	T Biol. maritime.
Queney	T Météorologie et dyn. atmosphérique.
Gallien	T Embryologie.
Eichhorn	T Biol. Vég. (S.P.C.N.).
De Cugnac	Biol. Vég. (S.P.C.N.).
Mle Cauchois	T Chimie Physique.
Thellier	T Physique du Globe.
L'Heritier	T Génétique.
Grivet	T Radioélectricité.
Poncin	T Méc. Gle.
Dubreil	T Arith. & théorie des nombres.
Quelet	T Chimie organique.
Cagniard	T Géophysique appliquée.
Champetier	T Chimie macromolécul.
Cuvillier	T Micropaléontologie
Jung	T Pétrographie.
Trillat	T Microscopie et diffr. électronique.
Wiemann	T Chimie organique et structurale.
Jacquinot	T Spectroscopie et Phys. céleste.
Vassy	T Phys. de l'atmosphère.
Destouches	Théories physiques.
M. Pruvost	T Géologie.
Amiel	T Chimie générale (P.C.B.).
Hocart	T Minéralogie.
J. P. Mathieu	T Physique (P.C.B.).
Couteaux	T Biol. animale (P.C.B.).
May	T Biol. animale (P.C.B.).
Choquet	T Calc. différentiel et Intégral.
Feldmann	T Biologie (P.C.B.).
Guinier	T Physique des solides (P.C.B).
Jost	T Physiologie comparée.
Fortet	T Calc. des probabilités.
Schwartz	T Calc. diff et intég.
Chouard	T Physiologie Végétale.
Malavard	T Aviation.
Brelot	T Calcul différentiel.
Normant	T Chimie organique.
Benard	T Chimie (P.C.B.).

Buvat	T Botanique (E.N.S.).
Dugue	T Statistiques mathém.
Geloso	T Chimie (S.P.C.N.).
Soulairac	T Psychophysiologie.
Ulrich	T Physiol. Végétale.
Marechal	T Optique théorique et appliquée.
Kirrmann	T Théories chimiques.
Chadefaud	Botanique.
Destriau	T Physique (M.P.C.).
Mle Le Breton	T Physiologie générale.
Salem	T Mathém. générales.
Lelong	T Mathém. générales.
Devillers	Anatomie et Histologie comparées.
Ehresmann	T Topologie Algébrique.
Françon	Physique (S.P.C.N.).
Glangeaud	T Géogr. physique et Géol. dynamique.
Godement	T Mathématiques (M.P.C.).
Pisot	T Calcul des Probabilités.
Roch (E.)	T Géologie.
Schatzmann	Astrophysique.
Termier	TPaléontologie stratigr.
Zamansky	T Mathém. générales.
Joliot	T Physique nucléaire et Radioactivité.
Lennuier	Physique (P.C.B.).
Rizet	Génétique.
Routhier	géologie appliquée.
Mme Tonnelat	Théories physiques.
Dixmier	Mathématiques (M.P.C.).
Souchay	Chimie générale. (P.C.B.).
Aigrain	Physique (P.C.B.).
Brusset	Chimie minérale.
M. Levy	Physique théorique.
Lenormant	Physiologie.
Mme Chaix	Chimie biologique.
Mme Hurel-Py	Biol. Végétale (P.C.B.).
Piaux Chimie	(P.C.B.).
Brun	Méc. exper. des fluides.
Lederer	T Chimie biologique.
Mme Dubreil	T Mathématiques.
Mme Lelong	T Mathématiques (E.N.S.).
Bellair	T Géologie (S.P.C.N.).
Cotte	T Physique (M.P.C.).
Dubois J. E.	T Chimie (S.P.C.N.).
Lamotte	Zoologie (E.N.S.).

MICHEL	T Chimie (S.P.C.N.).
OLMER	T Energétique générale.
ROUAULT	T Physique générale.
GAUTHIER	T Mécanique appliquée.
BARCHEWITZ	Chimie Physique.
BROSSEL	Physique atomique.
BUSER	Biologie Animale (P.C.B.).
CAMUS	Biologie végétale (P.C.B.).
CASTAING	Physique Générale.
CURIEN	Minétalogie et Cristallog.
MOYSE	Physiologie végétale.
NOIROT	Evolution des Etres organ.
PANNETIER	Chimie (P.C.B.).
POSSOMPES	Biol. Animale (P.C.B.).
PULLMANN	Chimie théorique.
TEILLAC	Physique Nucléaire et Radioactivité.
TONNELAT	Biologie physico-chimique.
VILLE	Econométrie.
WILLEMART	CHIMIE (P.C.B.).
DODE	Chimie.
FREYMANN	Physique (S.P.C.N.).
GUINOCHET	Biologie végétale (Orsay).
ROLLET	Chimie (P.C.B.).
MLE JOSIEN	Chimie (P.C.B.).
CHEVALLEY	T Géométrie algéb. et théor. des groupes.
DESNUELLE	T Chimie biologique.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL.....C. MONIER.

Contribution à la connaissance de l'origine, du métabolisme, et des propriétés biologiques, pour les Algues, des sels minéraux et composés organiques dissous dans les collections d'eau naturelles stagnantes

par

GISELE FARRUGIA – FOUGEROUSE

Centre de Recherches Hydrobiologiques du C.N.R.S. à Gif sur Yvette (Seine et Oise).

SOMMAIRE

I. – INTRODUCTION 3

II. METHODES DE TRAVAIL 4

a) – choix des collections d'eau à étudier

b) – méthodes d'analyses chimiques

1° – choix des méthodes

2° – critique des méthodes

c) – tests biologiques

d) – comptages bactériens

III. LES BACTERIES AEROBIES DES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES 11

IV. VARIATIONS SAISONNIERES DES BACTERIES AEROBIES DANS LES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES 12

V. CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DU NOMBRE DES BACTERIES AEROBIES DANS LES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES 12

VI. ORIGINES ET COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES 14

a) – eaux météoriques

b) – eaux de ruissellement

c) – eaux de sources

VII. – PROPRIETES BIOGENIQUES, POUR LES ALGUES, DES EAUX DE CES DIFFERENTES ORIGINES 19

a) – eaux météoriques

b) – eaux de sources

c) – eaux de ruissellement

VIII. – VARIATIONS SAISONNIERES DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES STAGNANTES 35

a) – variations des phosphates

b) – „ „ nitrates

c) – „ de l'ammoniaque

d) – „ des nitrites

e) – „ du calcium

f) – „ du magnesium

g) – „ du résidu sec à 180°

h) – „ des matières organiques dissoutes

i) – „ du pH

IX. – CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES STAGNANTES 42

a) – adsorption par la vase

b) – influence du plancton et des Bactéries

c) – cycle théorique des substances dissoutes dans un étang

d) – causes des perturbations de ce cycle théorique

e) – essai d'interprétation des variations de la composition chimique des eaux

X. – VARIATIONS SAISONNIERES DES PROPRIETES BIOGENIQUES DES EAUX POUR LES ALGUES 61

XI. – CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DES PROPRIETES BIOGENIQUES, POUR LES ALGUES, DES EAUX NATURELLES. 63

XII. – DISCUSSION 68

XIII. – CONCLUSION 71

I. INTRODUCTION

Je tiens tout d'abord à présenter mes respectueux remerciements à Monsieur le Directeur du Centre National de la Recherche Scientifique qui m'a autorisée à effectuer ce travail dans un laboratoire du Centre.

Je rends hommage à la mémoire de Monsieur A. PACAUD, Chef de Travaux à la Sorbonne, qui m'a initiée aux travaux de recherche avec tant de bienveillance.

Ce travail a été effectué à l'instigation de Monsieur M. LEFEVRE, Directeur du Centre de Recherches Hydrobiologiques du C.N.R.S., à qui je tiens à présenter ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je prie Monsieur le Professeur FELDMANN, Président et Rapporteur à cette soutenance, Messieurs les Professeurs MOYSE, GUINOCHET et VILLERET, Membres du Jury, d'accepter mes respectueux remerciements.

Ce travail a pu être publié grâce à l'amabilité et à la bienveillance de Monsieur le Professeur VAN OYE que je remercie ici très chaleureusement.

En hydrobiologie des travaux récents ont montré que les microphytes (Bactéries, Copépodes, Rotifères, etc...), toujours présents dans les collections d'eau naturelles stagnantes, excrètent des substances biologiquement actives qui, favorisant ou inhibant la croissance ou la multiplication cellulaire, jouent au point de vue écologique un rôle au moins aussi important que les sels minéraux dissous.

Dans un milieu aussi confiné que le milieu aquatique, les êtres vivants réagissent étroitement les uns sur les autres, soit par leurs produits d'excrètion, soit par la prédation, soit par des phénomènes d'ordre mécanique.

Il est donc manifestement impossible d'étudier dans un biotope donné la biologie d'un groupe d'espèces végétales (Algues par exemple) sans étudier parallèlement le comportement des Bactéries et des animaux du plancton.

Des espèces d'Algues peuvent apparaître massivement, en effet, sous l'influence des substances favorisantes fournies par la décomposition de substances organiques par les Bactéries (Eugléniens, par exemple). Elles peuvent au contraire disparaître très rapidement sans que la composition chimique du milieu ait changé, mais par le simple effet d'un zooplancton en pleine multiplication.

Dans ce travail nous avons cherché à établir des relations entre la composition chimique des eaux et la présence des Bactéries, du phytoplancton et du zooplancton.

Pour ce faire, nous avons choisi plusieurs étangs de type très différent: nous avons d'abord étudié la composition chimique et les

propriétés biologiques des eaux de remplissage (eaux météoriques, eaux de ruissellements, eaux de sources). Puis nous avons suivi pendant deux ans l'évolution saisonnière de la composition chimique des eaux de ces étangs, celle des Bactéries, du phytoplancton et du zooplancton.

Tout ceci nous a conduit à opérer un nombre considérable de posages chimiques; nous n'avons dosé que globalement les matières organiques sans pouvoir séparer leurs constituants. En effet, des essais de détermination par chromatographie des substances organiques actives dans nos eaux se sont montrés négatifs. Nous connaissons la raison de cet échec: ces substances n'existant qu'à l'état de faibles traces, il aurait fallu pouvoir concentrer sous vide des quantités considérables de liquide avant d'effectuer les analyses.

Connaissant désormais l'importance capitale des substances organiques dissoutes en écologie hydrobiologique, nous nous proposons de reprendre ultérieurement la question par d'autres méthodes: méthode biologique des milieux carencés, par exemple.

II. METHODES DE TRAVAIL

a) – Choix des collections d'eau à étudier

La microflore et la microfaune des étangs sont fort variables et différentes suivant qu'on considère une collection d'eau à pH acide, peu variable, voisin de 6,4: type étang de forêt, ou à pH variable alcalin pouvant passer au cours d'une journée d'été de 7 le matin à 9,5 dans la soirée (étang de plaine).

Il est évident que le métabolisme des substances chimiques dissoutes dans les eaux de ces deux types d'étang est différent en raison des substances „tampon" présentes dans les uns, et absentes dans les autres.

Nous verrons plus loin que nous n'attribuons pas à la valeur du pH en elle-même une importance capitale. Par contre sa fixité ou sa variabilité nous paraissent fournir une indication beaucoup plus importante, bien que personne ne connaisse très exactement les causes de cette fixité ou de cette variabilité.

Nous avons donc choisi, dans la région de Rambouillet, pour effectuer nos observations, plusieurs étangs dont les types déterminés par la nature du fond et la qualité des eaux de remplissage, se rapprochaient des extrêmes.

Nous avons également suivi des étangs de type intermédiaire, à pH neutre fixe, ou à eaux lentement renouvelées.

Ce sont:

– *l'étang de „La Plaine"*, alimenté par ruissellements sur prairies

et terres cultivées. Cet étang, d'une surface d'environ 2,5 hectares, et d'une profondeur d'1 mètre, est à pH assez variable. Le fond n'est recouvert que d'une faible couche de vase.

– *l'étang de „Coupe Gorge"*, alimenté uniquement par ruissellements sur sols forestiers, a une superficie d'environ 3 hectares, et une profondeur moyenne d'1,5 mètre. Il présente un type d'étang de forêt à eau acide et pH peu variable. Le fond est recouvert d'une épaisse couche de vase.

– *une mare dite „Le Trou"*, située dans un bois, alimentée par des eaux météoriques et de ruissellement en provenance d'une étroite zone de son pourtour.

– *l'étang de „La Tour"*, alimenté à la fois par des eaux de ruissellement sur sols cultivés et sur sols forestiers. Etang à pH presque fixe, neutre: 7.

La surface de cette pièce d'eau est d'environ 25 hectares, et sa profondeur moyenne de 2,5 à 3 mètres.

– *les „Canaux"* du Parc Présidentiel de Rambouillet: surface 15 hectares, profondeur moyenne 1,20 mètre, alimentés par des sources très minéralisées. L'eau des Canaux est à pH alcalin et variable.

Des prélèvements d'eau en vue des analyses chimiques et biologiques, des récoltes de phytoplancton et de zooplancton, des mesures de température et de pH, ont été faits, au cours de plusieurs années, dans ces différentes collections d'eau aussi régulièrement que le permettaient les moyens matériels dont nous disposions à cette époque.

b) – Méthodes d'analyses chimiques

1°. choix des méthodes

Nous avons effectué un choix de méthodes de dosage des principaux éléments minéraux susceptibles de se trouver dans les eaux naturelles.

Nous avons employé au maximum, dans le cadre de sensibilité que nous recherchions, les méthodes colorimètriques, à cause de la rapidité d'exécution: toutes les mesures ont été faites à l'aide d'un spectrophotomètre „Unicam".

Nous avons donc choisi les méthodes suivantes:

– *pH*: effectué sur le terrain lors des prélèvements, méthode colorimètrique classique avec le „Lovibond comparator".

– *degré hydrotimétrique total:* dosage à la liqueur alcoolique de savon de Boutron-Boudet (Sirjean, 1951).

– *matières organiques:* mesurées en oxygène emprunté au permanganate (10 minutes d'ébullition en milieu acide ou alcalin en présence de MnO_4K N/80) (Sirjean, 1951).

– *ammoniaque:* méthode de Nessler (Sirjean, 1951), (Charlot & Bezier, 1955).

– *nitrites:* méthode de Griess (SIRJEAN, 1951), (CHARLOT & BEZIER, 1955).

– *nitrates:* méthode de Granval-Lajoux à l'acide sulfo-phénique (SIRJEAN, 1951), (CHARLOT & BEZIER, 1955).

– *phosphates:* méthode de Fiske et Subbarow (1925) par réduction à l'acide 1 amino – 2naphtol – 4 sulfonique du phosphomolybdate formé (DELSAL & MANHOURI, 1955).

– *calcium et magnesium:* méthode au Complexon III ou versénate (MESTAYER, 1950), (BIEDERMANN & SCHWARZENBACH, 1948).

– *fer*: méthode à l'orthophénanthroline (STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE, 1946), (CHARLOT & BEZIER, 1955), (MILTON & WATERS, 1955), (CLEMENT DUVAL, 1956).

– *alcalinité totale exprimée en* CO_3: dosage par l'acide sulfurique N/100 en présence d'hélianthine (SIRJEAN, 1951).

– *sulfates exprimés en* SO_3*:* dosage gravimètrique au chlorure de baryum (DIENERD & GUILLERD, 1935).

– *résidu sec à 180°:* effectué sur eau filtrée (MOLLIEX, 1924).

2°. critique des méthodes chimiques

– *matières organiques*

Il n'existe aucune méthode de dosage global des matières organiques qui soit satisfaisante. La méthode couramment employée est celle qui est basée sur la réduction à chaud par les matières organiques de l'oxygène emprunté au permanganate.

Nous avons employé cette méthode, bien qu'elle ne soit ni très précise ni très fidèle, car, à notre connaissance, il n'en existe pas d'autre: nous avons voulu obtenir en effectuant ces dosages non pas, un chiffre absolu mais un élément de comparaison entre différentes eaux et à des époques différentes.

Cette méthode peut être employée soit en milieu alcalin, soit en milieu acide. Certains auteurs (SIRJEAN, 1951) ont voulu préciser qu'en milieu acide „le permanganate n'attaque que les matières organiques complexes et laisse à peu près intacts les corps tels que l'urée, l'acide benzoique de l'urine des herbivores, les produits amidés (leucine, etc...)", alors que "par contre, c'est en liqueur alcaline que le permanganate attaque ces corps qui se trouvent généralement dans les eaux polluées par des déchets animaux..."

Nous avons effectué précisement des dosages de matières organiques dans des milieux soit purement végétaux, soit purement animaux (d'une part Algues se décomposant dans de l'eau distillée, d'autre part Poissons se décomposant dans de l'eau distillée).

Ces dosages faits à la fois en milieu acide et en milieu alcalin nous ont donné des chiffres qui ne correspondent absolument pas à ces hypothèses. Nous avons toujours obtenu, que ce soit dans les milieux

végétaux ou animaux, des chiffres plus élevés en milieu acide.

Comme, d'autre part, il nous était impossible de transporter d'importantes quantités d'eau des points de prélèvements à notre laboratoire, et que chacun de ces dosages nécessitait l'emploi de 300 cm^3 d'eau à analyser, nous avons choisi d'effectuer le dosage en milieu alcalin, qui est celui fait le plus couramment.

Nous avons également constaté lors d'une série d'essais faits sur une eau d'étang assez chargée en matières organiques, qu'un excés de permanganate plus important (en faisant varier par exemple la concentration de la solution de permanganate) nous donnait un chiffre également plus important de matières organiques.

Or WILBAUX (1952) a comparé les différentes manières d'opérer pour cette même méthode. Il en déduit que l'excés présent du permanganate et le temps d'ébullition ont une grande importance, et que si cette méthode est excellente pour des eaux normales, elle ne peut être appliquée aux eaux très riches en matières organiques, qu'en standardisant rigoureusement la technique opératoire.

C'est également l'opinion de VILLERET (1955) qui écrit: „la signification de ce dosage est inconnue, et les résultats ne sont comparables que si on emploie exactement et toujours la même méthode."

C'est ce que nous avons essayé de faire, en opérant toujours dans les mêmes conditions. Nous avons employé une solution de permanganate N/80 dont 1 cm^3 fournit 0,1 mg d'oxygène, et le chauffage ayant une assez grande importance tous nos dosages ont été faits sur une plaque chauffante qui nous permettait d'obtenir l'ébullition en 5 minutes et une ébullition très douce.

Moyennant ces conditions nous pensons avoir obtenu des chiffres sinon très précis du moins comparables entre eux.

– *Azote*

Nous avons choisi pour les azotes, ammoniacal, nitreux, et nitrique, des méthodes colorimétriques pour la rapidité d'exécution. Très certainement les micro-Kjeldhals nous auraient donné des chiffres plus précis, mais étant donné le nombre d'analyses effectuées simultanément, il nous était matériellement impossible d'opérer par ces méthodes.

D'autre part nos eaux étant généralement incolores ou très peu colorées, nous n'avons pas eu les difficultés dont parle VILLERET (1955), qui n'a pas employé ces méthodes à cause de la coloration jaune des eaux qu'il analysait.

– *azote ammoniacal en NH_3*

Le réactif de Nessler est très sensible, et permet d'atteindre les traces d'ammoniaque.

Pour les eaux chargées en sels minéraux nous avons employé un déféquant avant de pratiquer la réaction afin d'éviter la précipitation des sels calcaires et magnésiens (SIRJEAN, 1951).

– *azote nitreux*

La méthode est peu précise mais permet de déceler des traces (CHARLOT & BEZIER, 1955).

– *azote nitrique*

La réaction colorimètrique n'est pas spécifique. Elle est également valable pour les nitrites. Si ceux-ci sont présents il faut les éliminer en les réduisant par une solution acétique d'urée (SIRJEAN, 1951).

– *phosphates*

Nous avons été amenée à adopter la méthode de dosage des phosphates de FISKE & SUBBAROW (1925), en nous placant à un pH assez bas pour éliminer les causes d'erreur apportée par la présence de la silice.

La réduction est faite avec une solution d'acide 1 amino-2 naphtol-4 sulfonique.

Cette méthode nous a donné entière satisfaction tant par sa précision que par sa sensibilité (sensibilité 0.05 mg/litre).

On peut d'ailleurs encore augmenter cette dernière en opérant par chauffage et par extraction au n-Butanol (DELSAL & MANHOURI, 1955).

– *calcium et magnesium*

La méthode de dosage volumètrique du calcium et du magnesium par une solution N/50 du sel disodique de l'acide éthylèndiamine tétraacétique, appelé versénate, que nous avons choisie, a été publiée par MESTAYER (1950).

Elle est basée sur la propriété qu'a le versénate de se combiner aux ions Ca^{++} et Mg^{++} pour donner des complexes solubles.

On effectue un premier dosage du calcium et du magnesium, un deuxième du calcium seul, et on obtient le magnesium par différence.

Cette méthode est suffisamment précise pour ce que nous voulions obtenir; on peut d'ailleurs augmenter sa précision en concentrant les eaux pauvres en calcium et magnesium.

La seule critique que nous pouvons faire est la suivante: si le virage du rose au bleu du premier dosage (Ca+ Mg), en présence de noir ériochrome T comme indicateur, est très facile à voir puisque une

goutte de versénate en excés donne une coloration verte, par contre, dans notre cas, le virage du deuxième dosage „jusqu'à ce que la moindre trace de la coloration rose de l'essai ait disparue" (MESTAYER, 1950), en présence de murexide comme indicateur, a été très difficile à voir.

En effet, probablement à cause de la présence des matières organiques dans nos eaux, nous n'avons pu obtenir qu'un virage du mauve-rose au mauve-bleu.

Très certainement cela a diminué la sensibilité de la méthode. Nous l'avons quand même employée puisqu'ainsi que nous l'avons dit pour les matières organiques nous voulions surtout obtenir un élément de comparaison entre différentes eaux et à différentes époques.

– *fer*

Nous avons choisi pour doser le fer la méthode colorimètrique à l'orthophénanthroline de préfèrence à celle au thiocyanate, cette dernière n'étant pas spécifique du fer, et les complexes thiocyanés formés étant peu stables.

La méthode à l'orthophénanthroline est spécifique; elle permet le dosage de faibles traces, et surtout la coloration est stable, et indépendante du pH entre 2 et 9 (STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE, 1946), (CHARLOT & BEZIER, 1955), (MILTON & WATERS, 1955) (CLEMENT DUVAL, 1956).

De nombreux ions gênent: pour une colorimétrie approximative (+ ou — 1 à 2% près) il suffit de se placer à un pH convenable.

Mais tel n'était pas notre cas, car dans nos eaux tous les ions qui pouvaient interférer la réaction se trouvaient présents à des taux très faibles.

Nous avons donc employé le mode opératoire classique sans modification.

c) – TESTS BIOLOGIQUES

De par leur composition chimique minérale et organique, les diverses eaux de remplissage des étangs possédent des qualités biologiques qui leur sont propres. Nous avons cherché à déterminer la valeur de ces qualités pour les Algues qui, du fait qu'elles sont à la base même de toute vie animale aquatique, revêtent une importance primordiale en hydrobiologie.

Pour ce faire nous opérions de la facon suivante:
l'eau à essayer était répartie, après filtration sur filtres Durieux bleus lavés, dans de petites boîtes de Pétri stériles à raison de 10 cm^3 de liquide par boîte.

ces boîtes étaient inoculées d'Algues en provenance de l'Algothéque du Centre de Recherches Hydrobiologiques: souches unialgales cloniques.

Des espèces de groupes très différents (Protococcales, Conjuguées, Cyanophycées, Diatomées) furent choisies.

Ce sont:

- *Cosmarium Lundellii* DELP.
- *Cosmarium obtusatum* SCHMIDLE.
- *Micrasterias papillifera* BREB.
- *Nitzschia palea* (KURTZ.) W. SMITH.
- *Phormidium uncinatum* (AGARDH) GOMONT.
- *Scenedesmus oahuensis* LEMM.
- *Ankistrodesmus falcatus* (CORDA) RALFS.
- *Selenastrum minutum* (NAEG.) COLL.
- *Pediastrum clathratum* var. *punctulatum* (SCHROTER) LEMM.
- *Closterium acerosum* SCHRANK.

La série des boîtes en expérience et une série „témoin" étaient alors exposées à un éclairage nord et à la température du laboratoire (20°—22°C), ou encore à celui d'une rampe électrique fournissant 2.000 lux sur la paillasse.

Un contrôle microscopique fréquent permettait d'apprécier les qualités biologiques des eaux essayées en se basant:

- sur la fréquence des divisions (par rapport aux témoins)
- sur la couleur des chloroplastes ou des pigments (Cyanophycées).
- sur l'état des chloroplastes et autres inclusions cytoplasmiques: substances de réserve, vacuoles, globules lipidiques, corpuscules trépidants chez les Desmidiacées, etc...

Pour mettre en évidence l'action possible des substances organiques, sachant que celles-ci peuvent être thermolabiles ou adsorbables par le charbon activé, nous avons répété les expériences ci-dessus avec:

- les eaux filtrées, puis maintenues 45 minutes à l'ébullition avec réfrigérant à reflux.
- les eaux filtrées agitées avec du charbon végétal lavé, puis refiltrées.
- les eaux simplement filtrées.

d) – COMPTAGES BACTÉRIENS

Dans un précédent travail effectué en collaboration avec M. LEFEVRE, nous avons montré que la décomposition spontanée par les Bactéries, de substances organiques solides (chair de poisson, Algues) fournissait des substances extrêmement actives sur les Algues, soit qu'elles en permettent à elles seules une excellente multiplication,

soit qu'au contraire elles en provoquent l'inhibition, voire la destruction.

Il était donc évident que les produits de la destruction par les Bactéries des cadavres d'animaux et végétaux présents dans les collections d'eau naturelles pouvaient avoir une importance au point de vue écologique.

C'est pourquoi nous avons cherché à utiliser les résultats des comptages de Bactéries effectués dans nos étangs d'expériences et publiés dans un travail de M. LEFEVRE et avec la collaboration de L. GOLDSTEIN.

Ces comptages bactériens ont été faits sur milieux solides en boîtes de Roux. Les milieux utilisés ont été les suivants:

- eau même de l'étang additionnée de gélose.
- milieu de LEFEVRE pour Algues, „L + C".
- milieu au caséinate de sodium.

On trouvera dans le travail de M. LEFEVRE la critique de cette méthode et de la valeur de ces milieux.

III - LES BACTERIES AEROBIES DES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES

Ces Bactéries proviennent des eaux météoriques et de ruissellement ou sont introduites par le vent et les animaux.

Toutes les Bactéries introduites dans une collection d'eau ne parviennent pas à s'y maintenir et à s'y multiplier. Il faut en effet qu'elles trouvent à l'arrivée des conditions convenant à leur nature.

Il existe des Bactéries autotrophes en petit nombre, mais la grande majorité est hétérotrophe. Dans notre laboratoire, ce sont surtout les Bactéries hétérotrophes planctoniques qui ont été étudiées.

Morphologiquement, elles se présentent le plus souvent sous forme de cocci ou de bâtonnets plus ou moins longs, à bouts plus ou moins arrondis, parfois associés en courtes chaînes. Certaines d'entre elles sont mobiles.

Nous avons très souvent observé dans nos eaux d'étangs des Bactéries hétérotrophes pigmentées: rouge, orangé, beige-rosé, violet, jaune, jaune soufre, jaune verdâtre. Leur nombre ne semble pas dépasser 60% de la population totale dans les conditions les plus favorables.

Sur 25 souches étudiées au laboratoire, d'une façon plus approfondie, 4 seulement étaient Gram +, 7 réduisaient les nitrates, 2 se montraient plus ou moins protéolytiques.

La recherche des Azotobacter sur silico-gel ou en milieu liquide par la méthode de Pochon et Tchan a été négative dans tous les cas.

Par contre on rencontre toute l'année et dans toutes les stations des cellulolytiques: *Cytophaga* ocre et rose, et *Cellvibrio*.

Les Bactéries jouent dans la nature de multiples rôles: elles dégradent la matière organique pour la ramener à l'état minéral, et elles servent en même temps de nourriture à certains animaux: Protozoaires (Infusoires en particulier), Cladocères, Rotifères, etc...

La dégradation des matières organiques se fait par paliers, par simplifications successives des grosses molécules. Ceci a une grande importance en hydrobiologie car, si la plupart des Algues sont autotrophes, beaucoup parmi elles se multiplient mieux et plus rapidement si on leur fournit des substances organiques relativement simples: ce sont les mixotrophes.

Enfin, les Bactéries excrétent également des substances qui peuvent être inhibitrices pour les Algues, même à dose très faible.

Toutes ces substances sont spécifiques, c'est à dire qu'elles ont des actions différentes, même parfois opposées, suivant les espèces d'Algues sur lesquelles on les fait agir.

Les Bactéries anaérobies de la vase de nos étangs d'expérience n'ont pas été étudiées.

IV – VARIATIONS SAISONNIERES DES BACTERIES AÉROBIES DANS LES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES

Le nombre des Bactéries aérobies planctoniques est loin d'être constant dans les collections d'eau stagnantes.

Le *tableau I* est le résultat d'un certain nombre de comptages faits dans des conditions identiques, à différentes époques des années 1954 et 1955, sur les eaux d'étangs de type différent.

Ce tableau montre que dans tous les étangs quel que soit leur type (étang de plaine, étang de forêt, mare polluée, étang à eau lentement renouvelée) le maximum des Bactéries se situe en mai-juin.

Un second maximum plus faible semble apparaître en janvier-février, puis un troisième beaucoup plus faible encore en octobre.

V – CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DU NOMBRE DES BACTERIES DANS LES COLLECTIONS D'EAU NATURELLES

Ces causes sont assez difficiles à définir, cependant on peut penser ceci:

– En janvier et février les eaux de ruissellement souvent abondantes, lavant les terres toujours riches en Bactéries, en introduisent une forte proportion dans les étangs d'où leur nombre assez élevé au milieu de l'hiver.

– Elles sont cependant peu actives en raison de la basse température, et ne semblent pas pouvoir se multiplier rapidement au détri-

TABLEAU I

Nombre de bactéries par centimètre cube

Mois	Plaine I955	Coupe Gorge I955	Trou I955	Tour I954	Ferme Nationale I954	Etang d'Or I954	Canaux I954	Canaux I955
Janvier	I00.000	I6.500						
Février	I55.000	25.000	I0.000					
Mars	I6.000	3.000	I2.500	770	7.800		I.570	
Avril	20.900	I0.000	33.200	I.830	2.I00	I3.750	4.400	
Mai		I0.000		I0.000	235.000		II7.500	
Juin	900.000	65.000	700.000	35.500	9I.500	57.000	3I2.000	
Juillet	33.000		I4.300	I2.200	I3.250	II.400	II.750	
Août				8.400	35.500	I4.700	3I.750	
Septembre	I4.250	2.000	38.000					4.500
Octobre	27.000	3.400	73.000					I.I00
Décembre	II.000	2.I00	6.700					9.300

ment des substances organiques introduites par les eaux de ruissellement. Utilisées par le zooplancton d'hiver (qui n'a guère d'autre nourriture à cette époque puisque les Algues utilisables sont rares) elles tendent à disparaître plus vite qu'elles ne se multiplient.

– Enfin, toutes les Bactéries en provenance des terres ne trouvent pas nécessairement dans les eaux les substances dont elles auraient besoin pour une subsistance prolongée.

– En mai-juin au contraire la température est élevée une grande activité se manifeste dans les eaux, les Algues pullulent, nourrissent abondamment le zooplancton qui progresse très rapidement.

– Les déjections de ce zooplancton fournissent un aliment de choix aux Bactéries.

– Les poissons qui consomment en abondance le zooplancton fournissent également de très importantes déjections putrescibles alimentant les Bactéries.

– Ces différents facteurs peuvent expliquer pourquoi leur nombre croît alors considérablement.

– La décroissance en juillet et août peut également s'expliquer comme suit:

en raison de l'intense activité des prédateurs en juin le zooplancton est en très nette régression et même souvent fort pauvre. Ses déjections et celles des prédateurs qui le consomment sont donc beaucoup moins abondantes. Les Bactéries ne trouvent plus m a t i è r e à s e m u l t i p l i e r avec la même rapidité.

– La nouvelle mais légère augmentation du nombre de Bactéries constatée dans un certain nombre d'étangs en septembre-octobre s'explique encore par une recrudescence du zooplancton. En effet, on sait que le zooplancton présente deux maxima, l'un d'été, très élevé, l'autre d'automne beaucoup moins important: on constate d'ailleurs que le nombre de Bactéries présentes en septembre-octobre est beaucoup plus réduit qu'en mai-juin.

VI – ORIGINES ET COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES

Les eaux de remplissage des mares et étangs peuvent avoir les origines suivantes:

– eaux météoriques (pluie et neige).

– eaux de ruissellement.

– eaux d'infiltration (sources).

Nous avons analysé un certain nombre d'eaux de ces diverses provenances, afin d'étudier sur les Algues les effets de leur composition chimique.

a) – EAUX MÉTÉORIQUES

Nous avons recueilli des eaux de pluie en hiver, au printemps, et en été (orages), de la neige en hiver.

Les précautions suivantes ont été prises: récolte des eaux après abondante chute d'une heure, pour attendre que l'atmosphère soit lavée; récolte de la neige après avoir éliminé la couche superficielle susceptible d'être souillée.

Voici les résultats des analyses de ces différentes eaux:

TABLEAU II

Résultats en mg/litre

Eaux météoriques	Neige	Pluie d'hiver	Pluie de Printemps	Pluie d'été	Pluie d'été (orage et grêle)
pH	7	6,2	6,6	7	7,4
Degré Hydrotimètrique DH	2°	I°	I°	I,5°	I°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	I,5	2,3	2,5	I	I,5
Phosphates en PO4	0	0,4	0,3	0,I	0,2
Azote ammoniacal en NH3	traces	0,3	0,I5	0,5	0,5
Azote nitreux en NO2	traces	0,3	0,I	0,3	0,I
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces	traces	0,8
Calcium en Ca	I,3	2,4	2,8	I,6	2
Magnesium en Mg	0,6	0,25	0,3	0,4	0,4
Fer en Fe	traces	traces	traces	traces	traces
Résidu sec à I80°	7	9	I8	23	36

b) – EAUX DE RUISSELLEMENT

Nous avons étudié la composition de ces eaux dans deux cas bien distincts: ruissellement sur prairies et sols cultivés à l'étang de „La Plaine", ruissellement sur sols exclusivement forestiers à l'étang de „Coupe Gorge".

A l'étang de „La Plaine" les eaux ruisselant sur les terrains environnants se rassemblent dans des fossés, et parviennent à l'étang en

deux endroits que nous avons nommés, pour la commodité de l'exposé: arrivée droite et arrivée gauche.

Des prélèvements ont été faits en ces deux points pendant toute la période de ruissellement, c'est à dire de janvier à mars en 1955.

Nous avons aussi effectué en janvier deux prélèvements directement dans des fossés recevant des eaux de ruissellement sur des terres cultivées différentes, ces fossés se déversant eux-mêmes dans l'arrivée gauche de l'étang de „La Plaine".

Le *tableau III* donne les résultats de l'analyse chimique des prélèvements.

TABLEAU III

Résultats en mg/litre

La Plaine	Fossé I Arrivée gauche Janvier	Fossé II Arrivée gauche Janvier	Arrivée gauche Janvier	Arrivée droite Janvier	Arrivée gauche Février	Arrivée droite Février	Arrivée gauche Mars	Arrivée droite Mars
pH	6,8	7	7,2	7,2	7	7,2	7,6	7,I
Degré Hydrotimètrique DH	5,5°	I6,5°	I2,5°	I2°	6,5°	I2,5°	I6°	8,5°
Matières organiques	4,3	4,3	3,I	2,3	5,5	4,3	3,8	4
Phosphates en PO4	0,3	0,8	0,2	0,2	I,2	0,8	2	I
Azote ammoniacal en NH3	0	0	traces	traces	traces	0	0	0
Azote nitreux en NO2	0	0	traces	traces	traces	0	0	0
Azote nitrique en NO3	traces	I3,2	66,3	7,5	2,2	3,I	traces	traces
Calcium en Ca	I7	58,7	57	47	2I,7	4I,6	6I,4	I7,9
Magnesium en Mg	2,5	5	4,4	3,7	5	5	3,4	0,8
Alcalinité en CO3	24	69	36	57	30	60	96	24
Fer en Fe	I	0,8	0,2	0,2	0,8	0,8	traces	0,3
Résidu sec à I80°	569	387	282	246	I73	297	2I2	I22

A l'étang de Coupe Gorge le ruissellement a lieu uniquement sur sols forestiers. Les eaux rassemblées dans les fossés arrivent en

TABLEAU IV

Résultats en milligrammes/litre

Coupe gorge: GRAND PONT	pH	DH	Mat. org.	PO4	NH3	NO2	NO3	Alcal. en CO3	Ca	Mg	Fe	Ex. Sec
Octobre	6,6	2,5°	4,1	0,9	0,2	traces	traces	21	11,2	4,1	0,3	70
Décembre	6,3	4,5°	5,3	0,2	0	traces	traces	12	9,6	0,7	0,5	65

Tableau V

Résultats en milligrammes/litre

Coupe gorge: PETIT PONT	pH	DH	Mat. org.	PO4	NH3	NO2	NO3	Alcal. en CO3	Ca	Mg	Fe	Ex. Sec
Janvier	6	3,5°	3,85	0,2	0,1	0	traces	6	11	2,1	0,08	75
Février	5,2	2,6°	4,8	1,2	0,2	0	traces	12	7,5	2	0,1	73
Mars	5,7	3°	6	0,5	0,25	0	traces	21	8	1,8	0,7	72
Avril	7,2	4°	6,8	0,4	0	traces	traces	24	16,1	0,2	1,1	75
Juin	6	4,5°	5,4	0,5	0	traces	traces	18	9,5	4,8	0,16	73
Juillet	6,8	4°	5	0	0,25	traces	traces	36	11,5	3,6	1,4	74

deux points que nous appellerons: arrivée „grand point" et arriveé „petit pont".

L'arrivée „grand pont" ne fournit de l'eau à l'étang que pendant une courte période. Nous n'avons pu effectuer que deux prélèvements en cette station.

Le *tableau IV* donne les résultats de ces deux analyses chimiques.

L'arrivée „petit pont" dure plus longtemps. Nous avons pu y faire des prélèvements de janvier à juillet. Le *tableau V* donne les résultats de ces analyses.

Autour des étangs, et à proximité immédiate des bords, on trouve souvent de petites mares isolées dont une partie de l'eau se déverse périodiquement dans l'étang par débordement à l'occasion d'une pluie abondante, ou d'un orage.

Une de ces mares existait en 1955 à l'étang de Coupe Gorge: en raison de la couleur brune de ses eaux nous avons désigné cette mare sous le nom de „mare humique". Nous en avons analysé deux prélèvements en vue de savoir ce que de telles eaux peuvent apporter, comme substances actives, à un étang.

Les résultats des analyses sont consignés dans le *tableau VI*:

TABLEAU VI

Résultats en milligrammes/litre

COUPEGORGE: Mare humique	pH	DH	Mat. org.	PO4	NH3	NO2	NO3	Alcal. en CO3	Ca	Mg	Fe	Ex. sec
Février	5,8	2	I5,5	§	0	0	traces	I5	§	§	I	I32
Mars	5,8	5	49,I	4	§	traces	2,2	48	I9,8	0,6	8	I99

§ : les phosphates, le calcium, le magnesium et l'ammoniaque n'ont pu être toujours dosés quantitativement, l'eau étant trop colorée pour permettre l'appréciation d'un virage ; l'analyse qualitative était positive dans tous les cas.

TABLEAU VII

Résultats en milligrammes/litre

	pH	DH	Mat. org.	PO4	NH3	NO2	NO3	Alcal. en CO3	Ca	Mg	Fe	Ex. sec
terre de forêt + eau de pluie	6	5°	26	traces	6,7	0	§	25,5	§	§	traces	II2
terre de forêt + eau bidistillée:	5,6	5,5°	30	0,9	I4,5	0	§	36	§	§	traces	I98

§ : les nitrates, le calcium, le magnesium n'ont pu être dosés quantitativement, l'eau étant trop colorée, mais l'analyse qualitative était positive.

(§: les phosphates, le calcium, le magnesium et l'ammoniaque n'ont pu être toujours dosés quantitativement, l'eau étant trop colorée pour permettre l'appréciation d'un virage: l'analyse qualitative était positive dans tous les cas.)

D'autre part nous avons tenté de voir, expérimentalement au laboratoire, ce qu'une terre de forêt pouvait céder à de l'eau de pluie au cours du ruissellement.

Dans ce but, nous avons fait macérer de la terre prélevée superficiellement en bordure de l'étang de Coupe Gorge pendant 24 heures dans de l'eau de pluie, et nous avons effectué la même expérience avec de l'eau bidistillée. Après filtration, nous avons fait les analyses dont nous donnons les résultats dans le *tableau VII.*

(§: les nitrates, le calcium, et le magnesium n'ont pu être dosés quantitativement, l'eau étant trop colorée, mais l'analyse qualitative était positive.)

c) – Eaux d'infiltration: sources

La composition des eaux de source est éminemment variable puisqu'elle dépend de la nature géologique des terrains traversés.

Nous avons analysé un certain nombre d'entre elles afin de donner une idée de l'amplitude des variations possibles.

Nous avons donc analysé les eaux de deux sources du parc de Gif sur Yvette, dans lequel est situé notre laboratoire, celle de la source Guénolé située dans les calcaires fissurés à Mamers (Sarthe), celle de la source de Sainte Montaine, située à Brinon sur Sauldre (Cher), et enfin celle d'une source émergeant de terrains granitiques près de Royat (Puy de Dôme).

Voici consignés dans le *tableau VIII* les résultats des analyses.

A titre de renseignements complémentaires nous donnons encore la composition chimique de sources alimentant les pièces d'eau du Domaine Présidentiel de Rambouillet.

Le *tableau IX* donne les résultats des analyses chimiques des sources de Rambouillet.

VII – PROPRIETES BIOGENIQUES, POUR LES ALGUES, DES EAUX DE CES DIFFERENTES ORIGINES

En principe la composition chimique *minérale* de toutes les eaux étudiées précédemment permettrait la multiplication et la croissance d'un très grand nombre d'Algues appartenant à des groupes très différents.

En effet, il suffit, en cultures de laboratoire, de très faibles quantités de calcium, magnesium, phosphore, azote, soufre, potassium, et oligoéléments (surtout fer) pour permettre la multiplication d'un grand nombre d'Algues.

TABLEAU VIII

Résultats en milligrammes/litre

Sources	Gif I	Gif II	Sainte Montaine	Guénolé	Royat
pH	7,2	7,I	5,9	7,6	7,I
Degré Hydrotimètrique DH	24°	29°	4°	29°	3°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	0,2	0,4	0,5	0,6	0,6
Phosphates en PO4	4	0,2	0,8	0,8	0,I
Azote ammoniacal en NH3	0	0	0	0	0
Azote nitreux en NO2	traces	traces	0,I	0,6	traces
Azote nitrique en NO3	62	8,8	II	I	2,2
Calcium en Ca	82	96	9,5	II4	8
Magnesium en Mg	I2,6	I4,3	6,8	3,I	2,4
Alcalinité en CO3	I20	I32	I5	I48	I2
Fer en Fe	traces	traces	0,I	traces	traces
Résidu sec à I80°	400	398	84	323	59

TABLEAU IX

Résultats en milligrammes/litre

Sources Rambouillet	pH	DH	Mat. org.	PO4	NH3	NO3	SO4	Ca	Résidu sec
N° I	8,4	24	22,4	0,5	I5I,6	50,5	228,8	8I,5	487,5
N° 2	7	43,5	4	0,5	3	70,8	22I,2	I82,5	737

Beaucoup d'espèces d'Algues possédent d'ailleurs une remarquable faculté d'adaptation à des conditions biologiques variées, à condition qu'elles ne subissent pas l'influence des produits d'excrétion d'autres espèces.

C'est ainsi qu'au Centre de Recherches Hydrobiologiques, LEFEVRE et LAPORTE ont pu cultiver dans des eaux thermales sulfatées calciques très minéralisées (résidu sec: 2.500 mg/litre), et à une température de 40°C, des espèces d'eau douce dont les conditions habituelles de végétation dans la nature sont: minéralisation moyenne 250 à 300 mg/litre, température moyenne 20 à 22°C: ceci a été réalisable parce que ces cultures étaient unialgales.

Dans la nature au contraire, ces mêmes espèces auraient été éliminées par les produits du métabolisme d'autres espèces plus prolifiques (Cyanophycées) depuis longtemps habituées aux conditions spéciales de minéralisation et de température des griffons.

Inversement, des Algues en provenance d'eaux thermales de Dax (55–60°C) ont été très bien cultivées dans le milieu minéralisé utilisé couramment au laboratoire pour les Algues d'eau douce (résidu sec: 224 mg/litre) et à une température moyenne de 20°C.

Mais, toutes les eaux, quelle que soit leur origine, contiennent également des substances organiques dissoutes, et les travaux récents ont montré que ces substances, même à dose extrêmement faible, pouvaient avoir une action déterminante, favorisante ou inhibitrice – voir létale – sur les Algues.

Cette action est d'ailleurs spécifique, c'est à dire qu'un composé organique nocif pour une certaine espèce d'Algues peut, au contraire, être favorisant pour une autre espèce.

Nous avons, pour apprécier cette activité, utilisé la méthode des tests biologiques, dont la technique a été exposée plus haut.

a) – EAUX MÉTÉORIQUES

On peut déduire immédiatement des résultats du *tableau II* que les eaux de pluie et de neige contiennent toutes des sels minéraux, alors qu'on a tendance à les comparer à de l'eau distillée.

Ces eaux ont un pH plus élevé en été, et les matières organiques et l'ammoniaque augmentent à la même époque, mais elles contiennent toutes des matières organiques, des phosphates, et des nitrates.

La neige semble plus pauvre en sels minéraux.

Nous pouvons donc dire que ces eaux de pluie et de neige apportent dans les étangs une certaine quantité de sels minéraux, qui, si elle n'est pas très importante, n'est pas négligeable, car elle constitue tout de même un apport en matières organiques, nitrates et phosphates, éléments importants pour le phytoplancton.

Mais quel peut être le comportement de ces matières organiques vis à vis des Algues?

Pour répondre à cette question nous avons effectué deux séries de tests biologiques, une première série en 1955, une seconde en 1957.

Les résultats en sont consignés dans *le tableau* (*X*).

TABLEAU X

		Pluie hiver 1955	Pluie hiver 1957		
	Témoin L+C	Eau de pluie filtrée	Eau de pluie filtrée	Eau de pluie bouillie	Eau de pluie charbon
Cosmarium Lundellii	+ + +	+ +	+ + +	+ +	– –
Cosmarium obtusatum	+ +	+ + +	– –	–	– – –
Micrasterias papillifera	+	+ + +	+ + +	+	–
Pediastrum clathratum	+	+	+ cénobes pulvérisés	+ +	+ +
Scenedesmus cahuensis	+ +	+	+	–	–
Phormidium uncinatum	+ +	– – –	+	+ + +	+ +
Nitzschia palea	+ + +	– –	–	– – –	–

De l'examen des résultats nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

– *1ère série* – L'eau de pluie permet une bonne ou même excellente multiplication de *Micrasterias papillifera*, *Cosmarium Lundellii*, *Cosmarium obtusatum*, *Ankistrodesmus falcatus*; une faible multiplication de *Pediastrum clathratum* var. *punctulatum*.

Elle est nocive pour *Nitzschia palea*, et totalement abiotique pour *Phormidium uncinatum*.

En résumé, elle contient suffisamment de sels minéraux pour permettre la multiplication de nombreuses espèces d'Algues, mais probablement aussi assez de matières organiques spécifiquement nocives pour d'autres espèces.

– *2ème série* – Dans cette série nous avons cherché à prouver que l'action sur la multiplication des Algues des substances organiques dissoutes dans l'eau de pluie n'était pas négligeable.

Nous avons donc tenté de faire disparaître ces substances organiques (présentes dans l'eau de pluie à une dose voisine de 2 mg/litre), soit en les détruisant par la chaleur (si elles sont thermolabiles), soit en les adsorbant par le charbon.

Le tableau X montre bien l'influence non négligeable des substances organiques dissoutes: en ce qui concerne *Pediastrum clathratum* var. *punctulatum*, par exemple, l'eau de pluie 1957 simplement filtrée est peu favorable à la multiplication.

Après destruction d'une partie des matières organiques soit par l'ébullition, soit par adsorption par le charbon, la multiplication est bonne et même supérieure à celle du témoin.

Les substances organiques défavorables à *Pediastrum clathratum* sont au contraire favorables à *Micrasterias papillifera*. En effet, l'eau de pluie simplement filtrée provoque une multiplication de cette espèce supérieure à celle du témoin cultivé dans son milieu L + C habituel, alors qu'après ébullition ou adsorption, la multiplication devient moins bonne.

Enfin, la comparaison de l'action des substances organiques sur les Algues dans les deux séries d'essais faits à deux ans d'intervalle montre que leur nature n'était probablement pas identique.

En effet, dans la première série elles détruisaient totalement un ensemencement de *Phormidium uncinatum*, alors que dans la seconde elles permettaient une bonne multiplication de cette espèce.

En ce qui concerne *Cosmarium obtusatum*, au contraire, l'eau de pluie de la première série était bien plus favorable à sa multiplication que la seconde.

– *3ème série* – Enfin, nous avons fait une dernière série d'essais sur l'eau de pluie en 1958.

Nous n'en donnons les résultats que sous forme de microphotographies effectuées sur deux espèces d'Algues *(planches I et II)*. Ces microphotographies montrent nettement l'influence des substances organiques dissoutes, même à très faible dose, sur leur multiplication.

Si on compare, pour *Micrasterias papillifera*, l'action de l'eau de pluie 1958 à celle de l'eau de pluie 1957 (2ème série), on voit que cette action est différente: l'eau de pluie 1958, simplement filtrée, est défavorable à ce *Micrasterias*, alors qu'elle lui devient favorable après passage sur charbon.

C'est exactement le contraire de ce qui se passait avec l'eau de pluie 1957 (2ème série).

On voit donc que la nature des substances organiques actives contenues dans les eaux météoriques peut différer très notablement avec le temps.

b) – Eaux de sources

Nous avons répété sur les eaux de sources les mêmes expériences que sur les eaux de pluie: les résultats de ces tests sont consignés dans le *tableau XI*. (voir également essais 1958 sur eau de source de Sainte Montaine (Cher) – Microphotographies de la *planche III*).

PLANCHE I

Culture d'algues dans l'eau de pluie (printemps 1958)

Cette eau contenait 2 mg/litre de matières organiques dosées au permanganate, à chaud, en milieu alcalin.

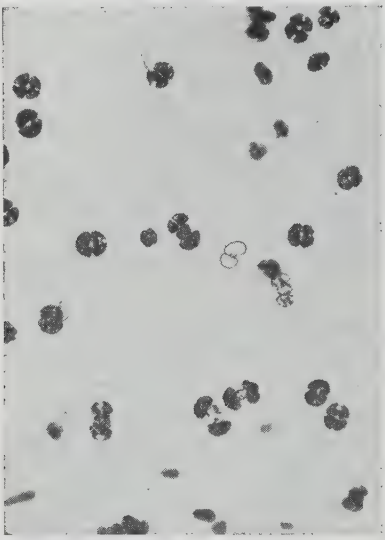


Fig. 1

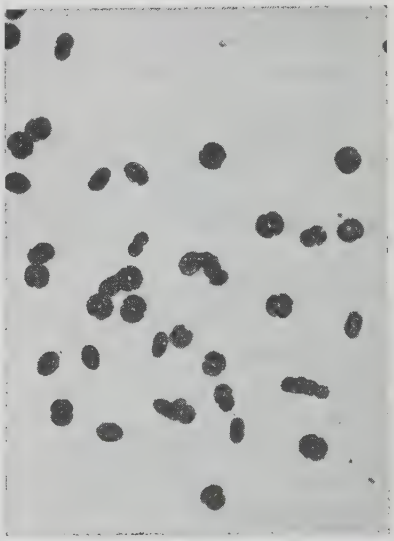


Fig. 2

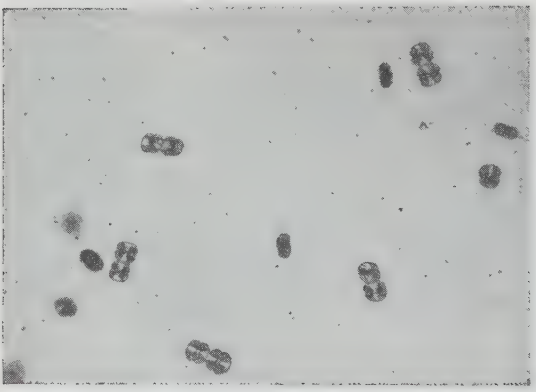


Fig. 3

Figure 1. Culture de *Cosmarium obtusatum* dans l'eau de pluie simplement filtrée.

Multiplication possible mais médiocre, nombreuses cellules jumelles ou mal formées.

Figure 2. Culture de la même espèce dans la même eau de pluie bouilli 45 minutes avec réfrigérant à reflux. Situation non améliorée.

Figure 3. Culture de la même espèce dans la même eau de pluie après agitation prolongée avec charbon pulvérisé bien lavé.

Très bonne multiplication comme le montrent les cellules en division simultanée, et parfaitement constituées.

Conclusion. L'eau de pluie contenait suffisamment de sels minéraux pour permettre la multiplication des Algues, mais probablement aussi des substances organiques antagonistes, non thermolabiles, mais adsorbables par le charbon.

N.B. Nous nous excusons du manque de finesse de ces microphotographies et des suivantes. Toutes ont été exécutées *in situ*, dans les boîtes de Pétri, sous 8 mm de liquide, ce qui explique leur imperfection.

PLANCHE II

Culture d'algues dans l'eau de pluie (printemps 1958)

Même eau de pluie qui celle ayant servi aux essais sur *Cosmarium obtusatum.*

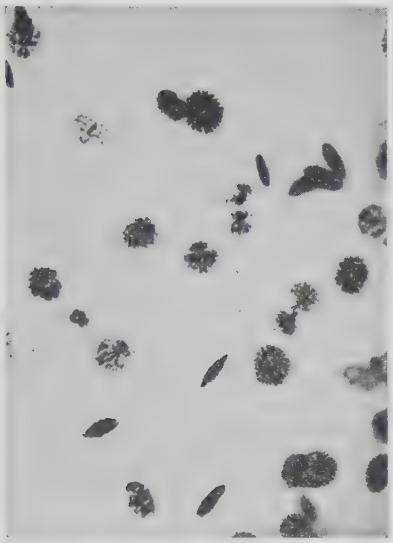


Fig. 1

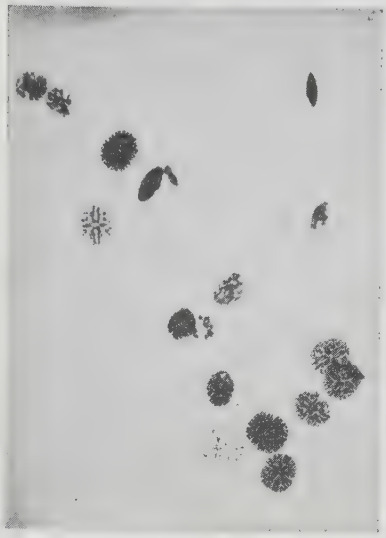


Fig. 2

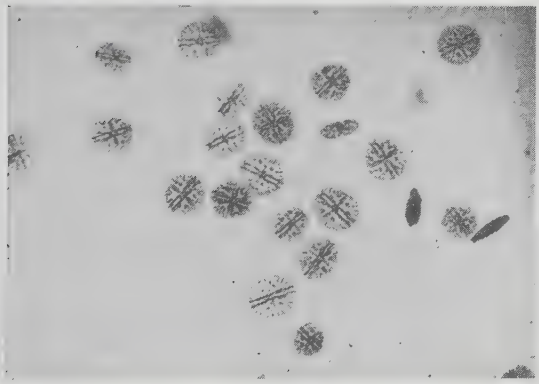


Fig. 3

Figure 1. Culture de *Micrasterias papillifera* dans l'eau simplement filtrée. Très médiocre multiplication, nombreuses cellules mortes ou imparfaites.

Figure 2. Culture de la même espèce dans l'eau de pluie bouillie. Situation très peu améliorée.

Figure 3. Culture de la même espèce dans l'eau de pluie passée sur charbon. Excellente multiplication.

Conclusion. Même conclusion que pour *Cosmarium obtusatum.*

TABLEAU XI

Sources	Témoin L + C	Gif I filtrée	Gif I bouillie	Gif I charbon	Guénolé filtrée	Guénolé bouillie	Guénolé charbon	Royat filtrée
Cosmarium lundellii	+ +	- - -	- - -	+ +	- - -	+ +	+	- - (cellules granuleuses)
Cosmarium obtusatum	+ +	+ +	- - -	- - -	+ +	- - -	+ + +	+ + (cellules granuleuses)
Micrasterias papillifera	+ +				-	+	+	-
Pediastrum clathratum	+ +	- -	- -	-	+ +	+ + +		-
Scenedesmus oahuensis	+ +	+ + +	+ +	+	+ +	+ + +	+ + +	+ +
Ankistrodesmus falcatus	+ +	- - -	- - -	- - -	- (cellules courtes)	+	+ +	+ +
Phormidium uncinatum	+ +	+	-	- - -	-	+ (filaments striés mais non colorés)	+ + (filaments striés mais colorés)	-
Nitzschia palea	+ +	+ + +	+ +	- - -	-	+ (dégénérescence grais seuse)	+	+ +

L'examen de *tableau XI* montre encore:

– que les substances organiques dissoutes dans ces eaux ont une action sur la multiplication des Algues.

– que cette action varie suivant la nature des sources.

– qu'elle est spécifique.

c) – Eaux de ruissellement

L'étude des proprétés biogéniques, pour les Algues, des eaux de

PLANCHE III

Culture d'algues dans l'eau de source de Sainte Montaine (1958).
Cette eau contenait 0,5 mg/litre de matières organiques dissoutes.

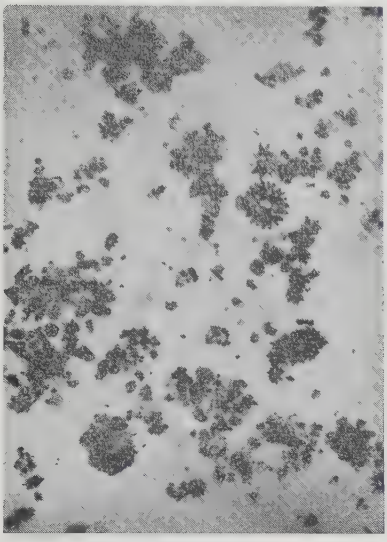


Fig. 1

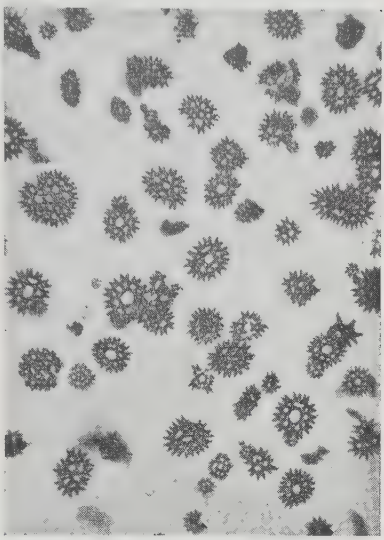


Fig. 2

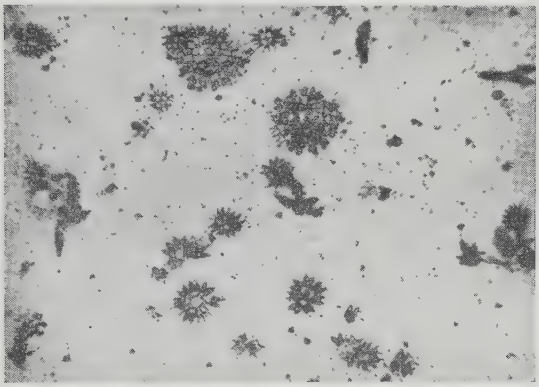


Figure 1. Culture de *Pediastrum clathratum* dans l'eau simplement filtrée.

Très nombreuses multiplications, mais les cellules ne parviennent pas à s'ordonner en cénobes; elles restent isolées et mal formées.

Figure 2. Culture de la même espèce dans la même eau après ébullition.

Excellente multiplication.

Figure 3. Culture de la même espèce dans la même eau après passage sur charbon activé.

Un peu meilleure multiplication que dans l'eau simplement filtree, mais encore très imparfaite.

Conclusions. L'eau de la source Sainte Montaine contenait des substances organiques antagonistes pour *Pediastrum clathratum.*

Contrairement à ce qui existait pour l'eau de pluie avec *Cosmarium obtusatum* et *Micrasterias papillifera* ces substances étaient thermolabiles, mais peu adsorbables par le charbon activé.

Ceci montre encore l'importance des substances organiques dans la multiplication des Algues, puisque, même à la faible dose de 0,5 mg/litre elles peuvent avoir une influence très énergique sur le métabolisme de certaines espèces sensibles.

ruissellement a été faite sur les eaux d'alimentation de l'étang de La Plaine et de l'étang de Coupe Gorge.

Le *tableau XII* résume les observations faites à l'étang de La Plaine, le *tableau XIII* celles faites à Coupe Gorge.

N.B. Les essais ont été faits sur eau filtrée.

TABLEAU XII

Alimentation: Étang de "La Plaine"	Fossé arrivée gauche				Arrivée gauche				Arrivée droite		
	Filtrée	Bouillie	Charbon	Filtrée	Bouillie	Charbon	Filtrée	Bouillie	Charbon
Cosmarium lundellii									
	-	+ +	+	+ + +	+	-	+ + +	+ + +	+ +
Pediastrum clathratum									
	+ +	+ +	+	+ +	+		+ + +	+ +	+
Scenedesmus oahuensis									
	+ + +	+ + +	+ +	+	+ + +	+	+ + +	+ + +	+ + +
Phormidium uncinatum									
	+	+ + +	+ + +	+	+ +	+	+ + +	+ + +	+
Nitzschia palea									
	+	+	+	+ +	+	+	+ + +	+ + +	+
Closterium acerosum									
	+ + +	+ +	-	+	+	- - -	+ + +	+ +	- - -

+ (cénobes à architecture anarchique)

TABLEAU XIII

Alimentation Etang de "Coupe Gorge"	Témoin	Janvier	Mars	Juillet
Cosmarium Lundellii	+ +	+	-	- - -
Pediastrum clathratum	+ +	+	+	+ (cénobes à architecture anarchique)
Scenedesmus oahuensis	+ +	+ +	+ +	+
Phormidium uncinatum	+ +	-	- - -	+ +

TABLEAU XIV

Petit Pont Coupe Gorge	Janvier	Mars	Juillet
pH	6	5,7	6,8
Degré hydrotimètrique DH	3,5°	3°	4°
Matières organiques	3,8	6	5
Phosphates en PO4	0,2	0,5	0
Azote ammoniacal en NH3	0,I	0,25	0,25
Azote nitreux en NO2	0	0	traces
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces
Alcalinité en CO3	6	2I	36
Calcium en Ca	II	8	II,5
Magnesium en Mg	2,I	I,8	3,6
Fer en Fe	0,08	0,7	I,4
Résidu sec à I80°	75	72	74

TABLEAU XV

Résultats des analyses en milligrammes/litre

Etang de "La Plaine"	Janvier	Février	Mars	Avril	Juin	Juillet	Septembre	Octobre	Decembre
pH	7,2	7,I	7,I	7,7	7,4	7,4	7,3	7,4	7
Degre hydrotimètrique DH	I0°	8°	8°	8,5°	9,5°	6,5°	5,5°	6°	5°
Matières organiques en mg d'oxygène	I,7	5	4,8	3,9	I,7	4,3	4	3,I	3,9
Phosphates en PO4	0,I	0,8	traces	0,3	0,2	traces	0,I	0,4	traces
Azote ammoniacal en NH3	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0
Azote nitreux en NO2	0,2	0	traces	traces	0	0	0	0	traces
Azote nitrique en NO3	26,5	4,4	2,2	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Calcium en Ca	35,4	26,3	29,2	28,6	24,8	20	20	I9,6	I8,8
Magnesium en Mg	3,3	3,6	2,4	3,7	3,8	3,6	I,9	3,I	0,7
Alcalinité en CO3	3I,5	36	48	42	5I	57	30	26	I6,8
Fer en Fe	0,I5	0,8	0,6	0,4	2	I,4	0	traces	I,2
Résidu sec à I80°	2I5	376	I95	269	20I	I59	I52	I77	II0

Là encore nous trouvons la preuve de l'importance, au point de vue écologique, des substances organiques dissoutes.

Une remarque s'impose au sujet des observations faites sur les eaux d'alimentation de l'étang de Coupe Gorge: c'est qu'au cours

TABLEAU XVI

Resultats en milligrammes/litre

Etang de "Coupe Gorge"	Janvier	Février	Mars	Avril	Juin	Juillet	Septembre	Octobre	Décembre
pH	6,6	6,4	6,6	7,3	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Degre hydrotimètrique DH	2,5°	3,5°	3,5°	4°	5°	4°	3°	3°	3°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	3	4,5	6,I	4,I	4,8	5	6,I	4,6	4,6
Phosphates en PO4	0,4	0,8	0,5	0,2	0,I	0	0,2	0,65	0,35
Azote ammoniacal en NH3	0,I	0,I	traces	traces	0	0,24	0,2	0,2	traces
Azote nitreux en NO2	0	0	traces	traces	0	0	0	traces	I,3
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Calcium en Ca	8,5	6,9	II,3	I2,4	8,6	I0,5	9,2	9,2	8,8
Magnesium en Mg	I	4,4	2	2,4	I,4	3,4	2,2	I,9	I,4
Alcalinite en CO3	I3,5	2I	36	I6,5	I8	I8	24	I8	I3,8
Fer en Fe	0,6	0,8	0,4	0,4	0,45	0,6	traces	0,4	0,4
Résidu sec à I80°	92	I49	80	I45	I55	7I	II6	99	5I

de l'année elles semblent présenter une remarquable constance au point de vue biologique vis à vis des Algues, et ceci malgré des différences assez sensibles dans leur composition m i n é r a l e. (*tableau XIV*).

TABLEAU XVII

Résultats des analyses en milligrammes/litre

Etang du "Trou"	Février	Mars	Avril	Juin	Juillet	Septembre	Octobre	Décembre
pH	6,8	6,5	7,2	6,6	6,8	7,4	6,8	6,6
Degré hydrotimètrique DH	3,5°	6°	4°	3,5°	4°	3°	3,5°	4,5°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	3,9	5,3	4,4	5	5,6	4	4,6	4,75
Phosphates en PO4	traces	0,I	traces	traces	0	0,I	0,8	0,3
Azote ammoniacal en NH3	0,2	0	0,25	0,I	0,5	0,2	0,I	0
Azote nitreux en NO2	0	traces	0,05	traces	0	0	0,I	2,7
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Calcium en Ca	I0,I	I2,7	I3,8	8,5	I2,3	28	I5,6	I5,2
Magnesium en Mg	I,6	I,2	I,9	4,2	I,95	2,9	2,7	I
Alcalinité en CO3	2I	33	2I	2I	39	30	24	2I
Fer en Fe	I	0,7	0,9	I,6	I,6	traces	0,6	0,I
Résidu sec à I80°	90	82	I8I	II6	I23	95	II8	58

TABLEAU XVIII

Résultats des analyses en milligrammes/litre

Etang de "La Tour"	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
pH	7	7	7	6,6	6,8	7	7	7,3	7
Degré hydrotimètrique DH	3°	3,5°	4,5°	4°	4°	5°	5°	5,5°	4°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	4	3,2	2,I	2,3	2,2	2,2	2,2	2,7	I,9
Phosphates en PO4	0,3	traces	0,I	0,I	traces	traces	traces	0,5	traces
Azote ammoniacal en NH3	0	0,I	0	0	0	0	0	0	0
Azote nitreux en NO2	0	0	0,I	traces	0	traces	0	0	0
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Calcium en Ca	II,I	I4,5	I5,5	I6,9	I4,5	I5,7	I5	I5,5	I6,I
Magnesium en Mg	2,7	I,7	2,3	0,9	I,7	I,3	I	2,2	0,4
Sulfates en SO3	I2,7	I8	I8	20	24,3	26,5	2I	24,3	2I,7
Fer en Fe	0,6	0,6	0,6	0,8	I,2	0,8	0,8	0,6	0,3
Résidu sec à I80°	62,5	65	72	II8,5	68	96,8	97	89	58

TABLEAU XIX

Résultats des analyses en milligrammes/litre

"Canaux" du parc de Rambouillet	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
pH	8,2	8,2	9,2	8,3	8,I	9,3	8,6	8	7,2
Degré hydrotimètrique DH	30°	23°	I6°	20°	I7°	I9,5°	20,5°	29,5°	29,5
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	I,5	I,4	I,8	I,8	I,6	I,3	2,5	I,6	I,2
Phosphates en PO4	0,35	0,I2	0,I2	0,I2	traces	traces	traces	0,5	0,6
Azote ammoniacal en NH3	traces	traces	0	0	0	0	0,2	0,6	0,6
Azote nitreux en NO2	traces	traces	0,3	traces	0	0	0,I	0,4	0,4
Azote nitrique en NO3	4,4	traces	traces	traces	traces	traces	4,4	8,8	I7,6
Calcium en Ca	98	52	58,5	50,5	53	6I	85,5	I00	II0
Magnesium en Mg	4,6	3,5	3,2	5,9	6,I	4,I	2,5	2,5	2,8
Sulfates en SO3	87	87	85	I0I	88	85	92	87	82
Fer en Fe	traces	traces	traces	traces	0,I	traces	traces	traces	traces
Résidu sec à I80°	440	362	333	342,5	294	292	387	4I7	4I0

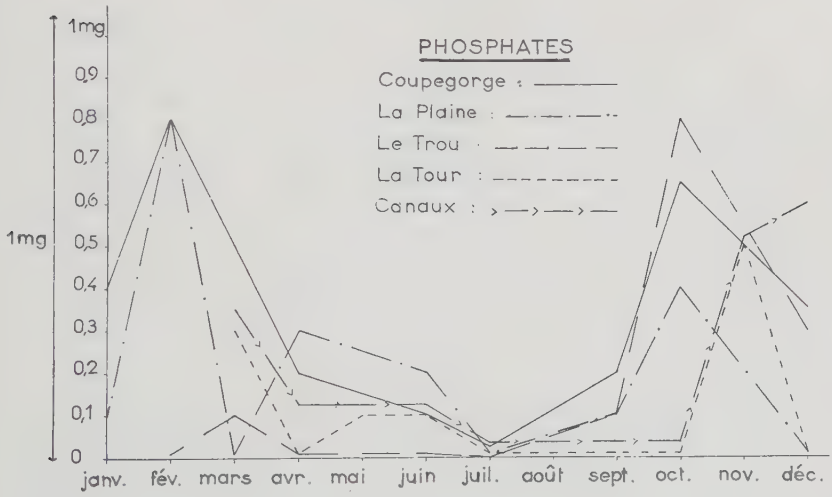
Nous n'avons pas pu faire des observations analogues sur l'étang de La Plaine, les rigoles d'alimentation ayant été taries très rapidement.

Il est cependant à présumer que les eaux d'alimentation de cet *étang de plaine*, ruisselant sur des terres fumées, et périodiquement souillées d'excréments animaux, doivent avoir une composition organique plus variable que celles des étangs de forêt, ruisselant sur des sols de composition plus constante et que leur valeur biogénique vis à vis des Algues doit subir, au cours de l'année, des fluctuations marquées.

VIII. VARIATIONS SAISONNIERES DE LA COMPOSITION CHIMIQUE D'EAUX NATURELLES STAGNATES

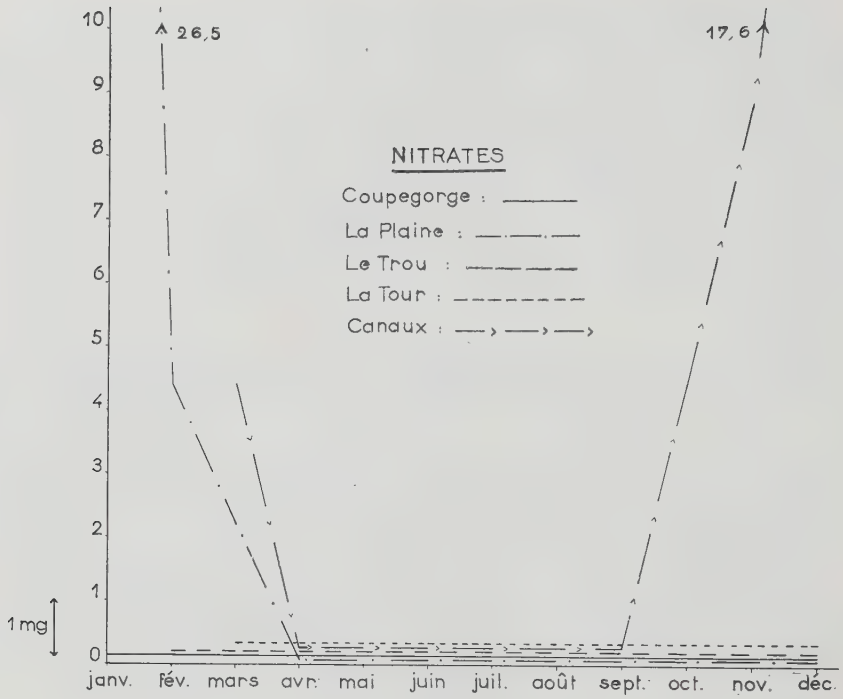
La composition chimique des eaux naturelles stagnantes est loin d'être constante au cours de l'année. On pourra juger de l'ampleur des variations par l'examen des *tableaux XV* à *XIX*.

Il y avait intérêt à savoir si les mêmes éléments subissaient les mêmes variations dans des étangs de type différent (étangs de forêts et étangs de plaines par exemple): c'est pourquoi nous avons dressé des courbes comparatives de Ca, Mg, N, P, pH, matières organiques, résidu sec à 180°, pour cinq étangs différents. (*graphiques* 1 à 9).

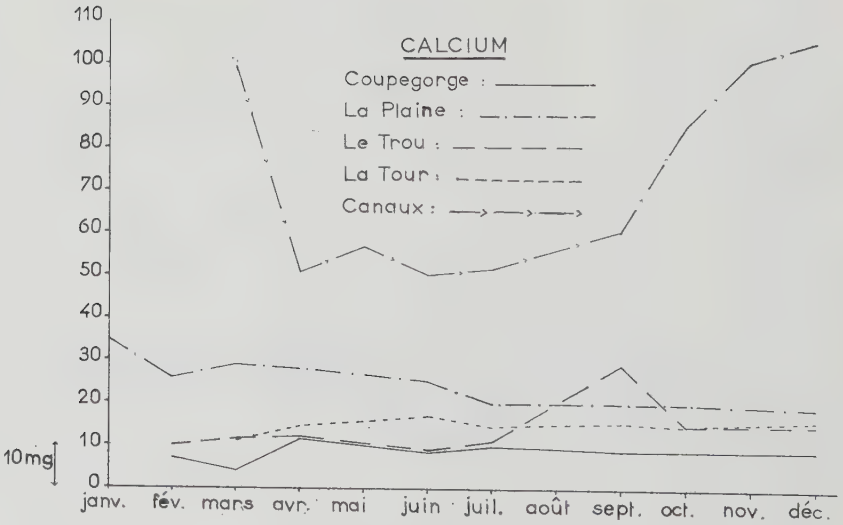


Graphique 1

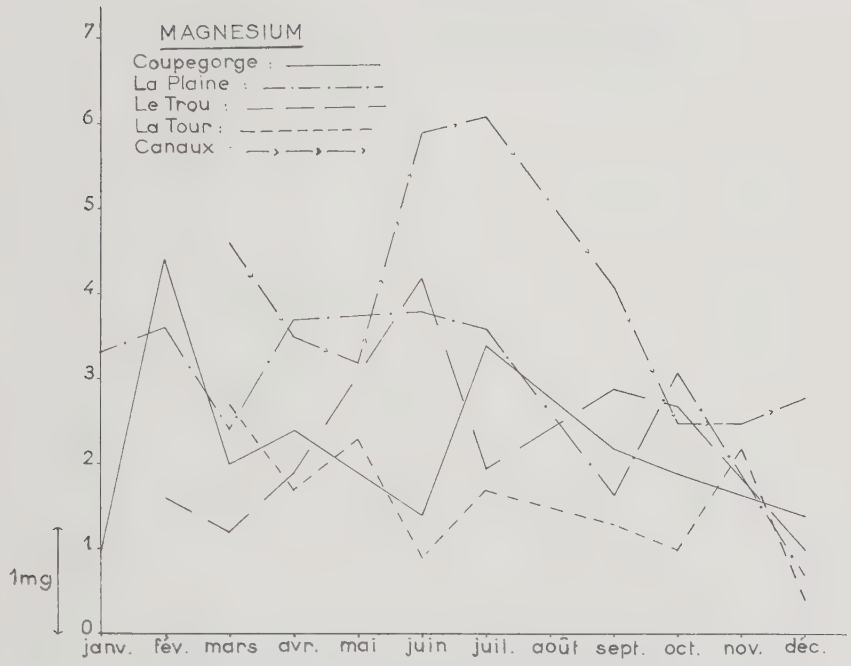
3*



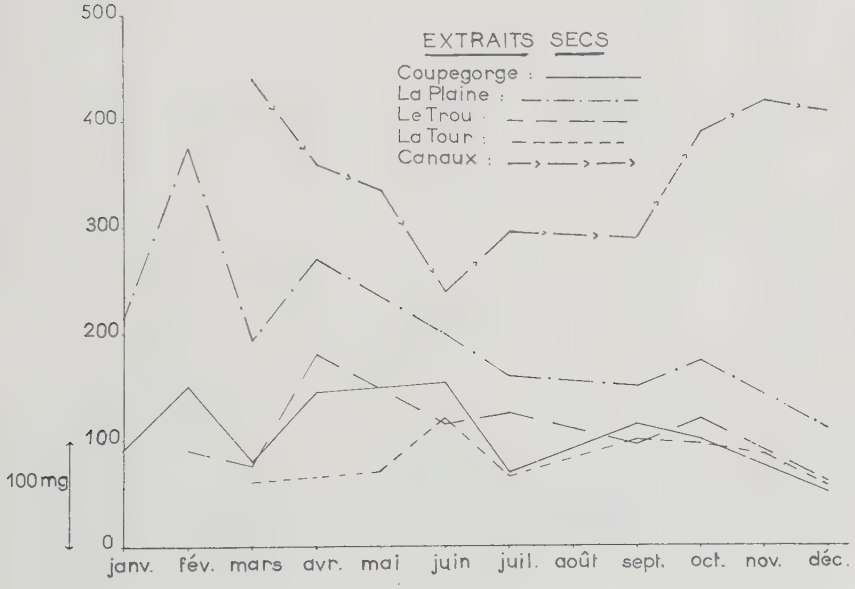
Graphique 2



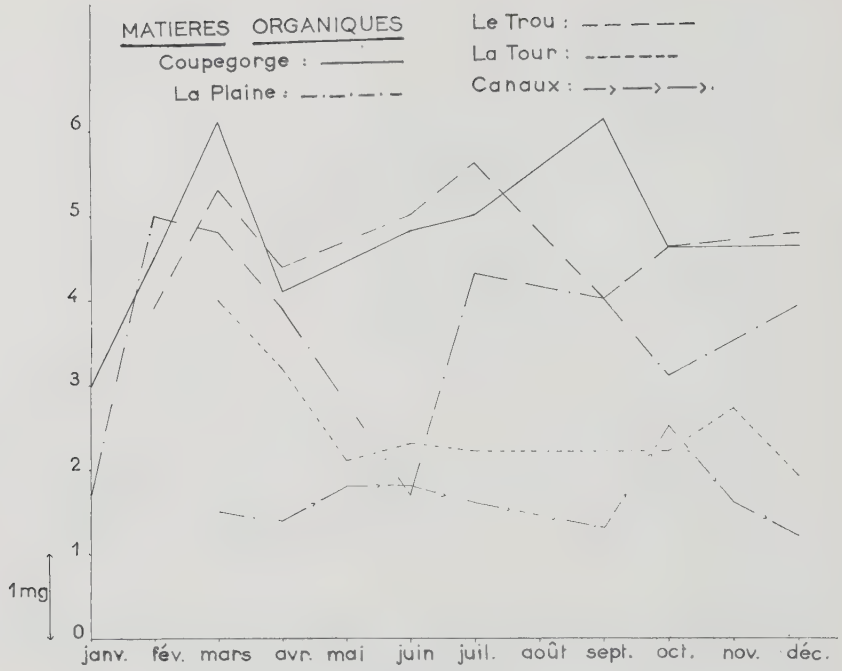
Graphique 3



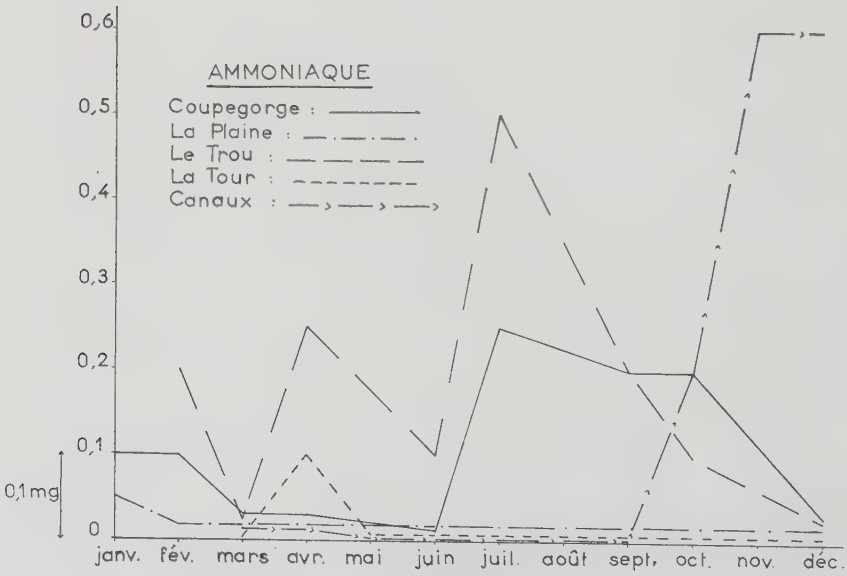
Graphique 4



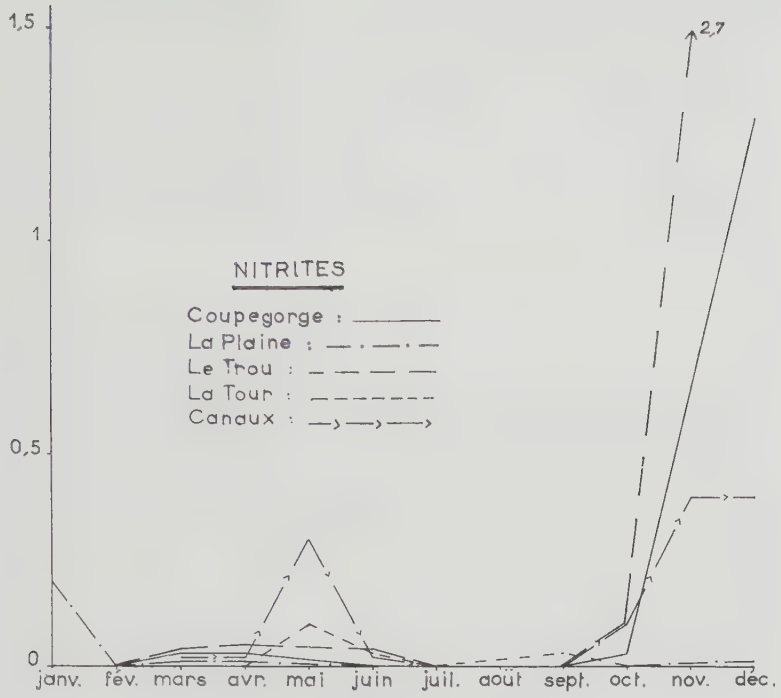
Graphique 5



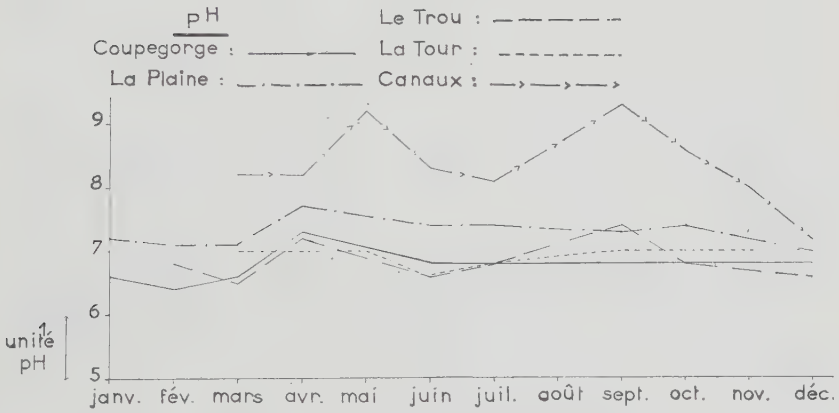
Graphique 6



Graphique 7



Graphique 8



Graphique 9

a) – Variations des phosphates

Dans l'ensemble les courbes de phosphates présentent:

– un maximum entre janvier et avril

– un minimum d'avril à septembre

– un second maximum entre septembre et décembre

Ceci semble constant dans tous les étangs quel que soit leur type.

Ce processus est cependant moins marqué en ce qui concerne l'étang dit Le Trou. Nous donnerons l'explication de cette anomalie ultérieurement.

b) – Variations des nitrates

Les nitrates ne se comportent pas de la même façon dans tous les étangs.

Dans Coupe Gorge, la Tour et Le Trou, étangs de forêt, ils sont toujours en très faible quantité, voire à l'état de traces, et ne subissent à peu près aucune variation au cours de l'année.

Dans La Plaine et les Canaux, étangs du type „de plaine", ils subissent, au contraire, de fortes variations que nous tenterons d'expliquer dans les chapitres suivants.

c) – Variations de l'ammoniaque

L'ammoniaque n'est jamais abondante dans les étangs de plaine peu riches en végétation phanérogamique et peu envasés.

On la rencontre au contraire en quantité notable à certaines époques de l'année dans les étangs de forêt.

Lors de nos observations une importante quantité d'ammoniaque a été décelée entre septembre et novembre dans les Canaux. Ce phénomène est lié à une décomposition du phytoplancton.

d) – Variations des nitrites

Les nitrites, comme l'ammoniaque, sont toujours en très faible quantité dans les étangs de plaine ou dans les étangs faiblement envasés.

Dans les deux étangs typiques de forêt faiblement chargés en nitrites pendant presque toute l'année, on observe une montée en flèche de ce corps en automne.

Ce phénomène, quoique moins accentué se reproduit également dans les Canaux du Parc de Rambouillet, dont l'eau est lentement renouvelée.

e) – Variations du calcium

Le calcium existe toujours en plus grande quantité dans les étangs de plaine (à pH habituellement variable) que dans les étangs de forêt (à pH beaucoup plus fixe).

C'est encore ce que nous avons observé sur les courbes du graphique VI.

Sauf dans les Canaux, dont l'eau n'est pas absolument stagnante, mais lentement renouvelée, les fluctuations du calcium sont faibles au cours de l'année. Elles sont cependant plus importantes au début de l'année dans les étangs de plaine que dans les étangs de forêt.

A partir du mois de juillet, et jusqu'au mois de décembre, les fluctuations sont à peu près inexistantes dans les deux types d'étangs.

f) – Variations du magnesium

Dans tous les étangs étudiés, le magnesium est toujours en plus faible quantité que le calcium.

Cependant, il n'existe pas de relation constante entre le magnesium et le calcium, ni dans les étangs de plaine, ni dans les étangs de forêt.

Ainsi, dans les Canaux, qu'on peut assimiler à un étang de plaine, le rapport moyen annuel $\frac{Ca}{Mg}$ est de 19. Dans La Plaine il n'est que de 8,5.

Dans les étangs de forêt Coupe Gorge et Le Trou, il est respectivement de 3,9 et 6,8.

Les fluctuations saisonnières du magnesium sont beaucoup plus importantes que celles du calcium.

Elles ne sont parallèles ni dans les étangs de plaine, ni dans les étangs de forêt.

g) – Variations du résidu sec à 180°

Les résidus secs varient, naturellement, d'un étang à un autre suivant la richesse des eaux d'alimentation et la nature du substratum.

Ils varient également dans un même étang au cours de l'année.

Assez élevés, en général, au début de l'année, ils diminuent en mars, remontent en avril, présentent un minimum entre le 15 juin et le 15 août, un second maximum vers octobre, puis redescendent jusqu'en décembre, et ceci quel que soit le type d'étang.

Il est possible de donner l'explication de ces variations. Nous le ferons dans un des chapitres suivants.

h) – Variations des matieres organiques dissoutes

Leur cycle varie suivant les étangs. Cependant, elles présentent un maximum vers le mois de mars, et diminuent jusqu'en juin.

Ensuite, soumises, comme nous le verrons plus loin, aux fluctuations du phytoplancton, du zooplancton, et des Bactéries, elles varient suivant les étangs.

i) – Variations du pH

Les étangs sont à pH plus ou moins variable, soit au cours de l'année, soit au cours de la journée.

Cependant, l'examen des courbes semble montrer que, dans presque tous les étangs, qu'ils soient du type „plaine" ou „forêt", le pH semble présenter un maximum vers mars-avril, un minimum vers juin-juillet, et un second maximum vers septembre-octobre.

IX – CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX NATURELLES STAGNANTES

Les causes des variations observées dans le chapitre précédent sont multiples. Elles sont à la fois d'ordre physique (dissolution des composés minéraux, adsorption), et biologique (emprunts opérés par les êtres vivants, restitution par le travail de dégradation des Bactéries).

a) – Adsorption par la vase

Nous devons ici ouvrir une large parenthèse au sujet des phénomènes d'adsorption par la vase des sels apportés en excés, et de leur restitution progressive.

Divers auteurs ont déjà signalé, au cours de leurs travaux, des fluctuations importantes et aberrantes de la composition chimique minérale des eaux stagnantes.

Ces anomalies sont particulièrement faciles à observer dans les étangs de pisciculture à la suite des épandages d'engrais destinés à accroître le rendement en poisson.

En 1945, Lefevre, Spillmann, & Duche avaient attiré l'attention sur cette question à la suite d'observations effectuées dans les étangs de Sologne. Leurs conclusions étaient les suivantes:

„Faut-il conclure... à une fixation immédiate par les matières organiques (de la vase) des produits solubles et à leur restitution progressive?

C'est encore, croyons-nous, l'hypothèse la plus vraisemblable, mais la question est loin d'être résolue."

En 1951, Maud Nisbet reprend la question, et observe les fluctuations des sels minéraux dissous dans deux étangs avant et après épandage d'engrais. Elle constate que l'effet de l'épandage de carbonate de chaux n'est pas immédiat, et suppose qu' „...une certaine quantité de ce corps doit être immédiatement fixée par la vase, et n'être ensuite restituée que progressivement."

S. Villeret (1955) a constaté une baisse rapide du taux de nitrates dans la grande mare de la Lande d'Ouée dés que celle-ci n'est plus

en communication avec une région polluée par des produits nitrés.

Il a alors réalisé l'expérience suivante:

– dans une mar tourbeuse de volume connu, 1 kg de $(NO_3)_2Ca$ fut introduit. La teneur de l'eau en nitrates, aurait dû être comprise entre 100 et 140 mg/litre. Deux heures après l'épandage, elle était effectivement de 128 mg/litre, 8 heures après de 110 mg/litre, mais au bout de 7 jours la teneur s'était abaissée à 2,8 mg/litre.

VILLERET attribue ce fait à „...un ensemble de phénomènes de sédimentation et d'adsorption aboutissant à un équilibre assez stable".

Ces différents auteurs sont donc d'accord pour constater une rapide disparition de sels minéraux lorsqu'ils sont introduits en excés dans une collection d'eau naturelle.

Cependant, un doute subsistait quant aux causes de cette disparition. On sait en effet que les plantes, trouvant brusquement dans leur milieu un corps dont elles étaient relativement privées depuis un certain temps, sont susceptibles de l'absorber rapidement, et de s'en gorger momentanément au-delà de leurs besoins, constituant ainsi des réserves.

Les essais de HUTCHINSON et BOWEN utilisant le radio-phosphore sembleraient confirmer cette opinion.

Mais HAYES & COFFIN écrivent en 1951: „Cette élimination sélective de la substance supplémentaire nous a fort intrigués et nous pensons qu'il ne s'agit pas d'une élimination proprement dite mais plutôt d'un mécanisme d'échange; un équilibre s'établirait rapidement entre la boue, les plantes, etc..., d'une part, et l'eau du lac de l'autre."

D'autres auteurs, dont nous-même, pensaient surtout à une absorption par la vase. Nous avons repris la question en menant les observations à la fois dans la nature et au laboratoire.

– OBSERVATIONS DANS LA NATURE

étang de La Plaine

Comme nous l'avons dit précédemment, cet étang est alimenté par des ruissellements sur sols cultivés. Il recoit donc des eaux riches.

Son remplissage se fait par deux fossés dans lesquels se rassemblent les eaux des champs et des prairies avoisinantes.

En janvier 1955 la teneur moyenne des eaux de remplissage en NO_3 était de 37 mg/litre, celle de l'eau de l'étang n était que de 26,5 mg/litre.

Il semble donc qu'il y ait eu déjà, au départ, une certaine absorption des nitrates par la vase de l'étang.

En février, au contraire, la teneur moyenne en nitrates des eaux

d'arrivée n'était plus que de 2,5 mg/litre tandis que celle de l'étang était encore de 4,4 mg/litre.

La vase de l'étang semblait donc à cette époque restituer à l'eau une partie des nitrates fixés à l'origine.

La même situation se poursuivait en mars. A cette époque, les eaux d'arrivée ne contenaient plus que des traces de nitrates, tandis que l'eau de l'étang en contenait encore 2,2 mg/litre.

De janvier à mars, les fluctuations des sels minéraux dissous ne peuvent guère s'expliquer par l'activité du phytoplancton car, en raison de la basse température et de la courte durée du jour, le phytoplancton est à peu près inexistant. Il semble donc bien qu'elles puissent être attribuées à des phénomènes d'absorption et de restitution par la vase.

Nous n'avons pu pousser plus avant cette comparaison entre les eaux d'alimentation et celle de l'étang, les fossés d'arrivée ayant cessé de débiter fin mars.

– *étang de Coupe Gorge*

Cet étang est très différent de celui de La Plaine. C'est un étang alimenté uniquement par ruissellements sur sols forestiers, donc à eau peu minéralisée, surtout pauvre en calcium.

En février 1955, la teneur en phosphates de l'eau d'alimentation était de 1,2 mg/litre, alors que celle de l'eau de l'étang n'était que de 0,8 mg/litre.

Il semble donc là encore y avoir une absorption par la vase et restitution progressive puisque, malgré un très fort développement de végétation phanérogamique et algale, on trouvait encore 0,1 mg/litre de PO4 fin juin, ce qui est assez rare dans un étang de ce type.

En règle générale, la teneur en phosphates des eaux naturelles varie de traces à 1 mg/litre, cette dernière étant assez exceptionnelle.

Les nitrates varient de traces à 10 mg/litre, et les matières organiques, dosées par le permanganate, de 1 à 20 mg/litre.

Ces observations faites dans les étangs non artificiellement enrichis en sels minéraux semblaient donc confirmer celles qu'avaient faites Lefevre et collaborateurs, puis Nisbet, sur les étangs de pisciculture de Sologne, et ceux de la région de Rambouillet.

– Expériences de laboratoire

Nous avons alors pensé que des expériences de laboratoire pourraient apporter au problème une solution définitive.

Par ces expériences nous avons cherché à montrer:

a) que la vase était susceptible de céder des sels minéraux et des composés organiques à une eau particulièrement pauvre (eau de pluie, eau distillée, par exemple).

b) que la vase était susceptible d'absorber rapidement des sels

TABLEAU XX

Résultats en milligrammes/litre

Vase de l'Etang de "La Plaine"	I2 H. contact 25/I	24 H. contact 25/I	26/I	27/I	29/I	30/I	I/2	3/2	6/2	8/2	I0/2	I2/2	I4/2	I6/2	20/2	22/2	24/2	27/2	29/2	2/3	3/3	5/3	9/3	I2/3	I6/3	22/3	27/3
pH	6,4	6,4	6,2	6,6	6,2	6,6	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	6,8	6,9	7	6,8	6,9	7	6,8	7	6,8	7,I	7	7,2	7,6	7,4	7,2
Degré hydrotimètrique DH	2,5°	4°	4,5°	4°	4°	5,5°	5,5°	6°	8,5°	8°	8°	I0,5°	I0,5°	I0,5°	9°	8°	8,5°	8,5°	9,5°	9,5°	8,5°	8,5°	8,5°	8,5°	8,5°	8°	8°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	I,7	I,I	0,8	0,6	I	0,8	0,6	I,3	0,6	I,3	I,6	I,7	2,2	3,25	I,65	I,95	I,9	2	2,3	2,I5	2	2,6	2,95	3,85	3	3,2	2,9
Phosphates en PO4	traces	I	I,3	0,6	0,8	0	0	0,2	0,I5	0,I5	0,I	0,I	0,2	0,I5	0,I5	0,I5	0	0	0,5	0,65	0,25	0,22	0,45	0,5	0,5	0,25	0,I5
Azote ammoniacal en NH3	0	0	0	0	traces	traces	traces	0,25	0,5	0,6	0,5	0,3	0,2	traces	traces	traces	traces	0,25	0,4	0,65	0,9	I,2	I	0,5	0,3	0,3	0,I
Azote nitreux en NO2	0,3	2,2	2,2	3,2	2,05	2,I	2,I	2,I	0,6	4,2	I,25	0,4	0,5	0,3	0,45	0,75	0,5	0,75	traces	0,05	0,08	0,I5	0,4	0,65	0,5	0,4	0,3
Azote nitrique en NO3	0,6	I,I	0,8	0,4	0,8	traces	0,6	0,9	0,35	I,I	I,I	0,6	0,5	I,2	0,6	0,8	0,9	I,I	0,8	0,8	0,7	0,7	0,5	traces	traces	traces	traces
Calcium en Ca	7,2	8,8	I4,4	I4,4	I6	I9,6	20,8	25,2	32	28,4	32,4	38,8	32	32	33,2	4I,6	32,I	35,4	36,8	37,3	35,9	33,6	35,9	32	29,7	30,6	30,7
Magnesium en Mg	I,25	2,7	I	2,9	I,9	I	I,4	I,9	I,45	3,8	2,65	2,9	5,5	4,8	4,8	3,8	I,45	3,05	2,4	I,55	I	I,9	3,2	2,9	2,6	I,2	2,2
Alcalinité en CO3	I2	II,2	I3,2	I2	I0,8	I4,4	I3,8	I8	23,7	23	I8,3	22,8	25	23	23	22,5	27,3	37	46,6	45,6	43,8	47,7	5I	49	49	49,2	48,6
Fer en Fe	0,I	traces	0,2	0,25	0,5	traces	traces	0,25	0,I	0,I5	0,I	0,I	0,25	0,I5	0,I5	0,I	0,2	0,4	0,5	0,25	0,2	0,45	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5

TABLEAU XXI

Résultats des analyses en milligrammes/litre

Vase de l'Etang de "Coupe Gorge"	12 H. contact 25/I	24 H. contact 25/I	26/I	27/I	29/I	30/I	I/2	3/2	6/2	8/2	I0/2	I2/2	I4/2	I6/2	20/2	22/2	24/2	27/2	29/2	2/3	3/3	5/3	9/3	I2/3	I6/3	22/3	27/3
pH	6,4	6,2	6	6,2	5,8	6,4	6,2	6,3	6,2	6,I	6	5,9	6	6	6,3	6,4	6,4	6,6	6,5	6,2	5,2	5,4	5,8	6,4	7	7,8	6,2
Degré hydrotimètrique DH	I,5°	2,5°	2,5°	2,5°	2°	2,5°	2,5°	I,5°	2°	2,5°	I,5°	I,5°	I,5°	I°	I,5°	I,5°	I°	2°	2,5°	I,5°	I,5°	I,5°	I,5°	I,5°	I,5°	2,5°	2,5°
Matières organiques en milligrammes d'oxygène	2,3	I,6	3,75	5,8	5,8	9,5	8	I2	7,4	I2	II,4	9	8	II,6	II,2	I0	I0,5	9,2	9,8	I0,5	II,2	8,4	I0,I	I0,6	I0,2	II	I0,5
Phosphates en PO4	traces	0,6	0,7	0,5	I	0	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,35	0,55	0,45	0,4	0,35	0,2	0,3	0,65	I	0,6	0,5	0,7	0	0	0	0
Azote ammoniacal en NH3	0	traces	0,4	0,6	I,45	I,5	I,65	2,2	2,2	0,45	2	2	I,7	0,8	0	0	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0	0	0	0	0
Azote nitreux en NO2	0,3	I,3	I,8	I,8	I,6	0,9	2,4	I,6	0,3	I,25	3,2	0,2	0,55	0,3	0,6	0,4	0,5	0	traces	0,I	0,05	traces	0,6	traces	0	0	0
Azote nitrique en NO3	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	0,5	0,8	0,9	0,9	0,45	0,65	I	0,8	0,55	0,6	0,65	0,95	I	I	I	0,9	0,9	0,6	0,6	traces
Calcium en Ca	4,8	6,8	7,2	5,6	4,8	6,4	6,8	5,6	5,6	3,6	3,2	3,2	3,2	3,2	4	I5,2	5,6	7,3	7,2	6,85	6,I	4,7	8	8	I0,8	8,5	8
Magnesium en Mg	0,9	I,45	0,48	0,48	I,7	0,97	0,48	0,97	0,97	0,48	0,97	0,97	0,97	I,4	0,72	0,7	0,48	0,I	0,82	0,I5	0,7	0,7	I,I	2	2,4	I,4	I,I5
Alcalinité en CO3	I0,8	I5	I9,8	I5	I9,5	24	I9,8	2I	I9,2	6,3	6,3	6,6	8,4	9	9,3	9	I0,5	I0,5	I2	9	9,6	7,5	II,4	I2,25	I2,6	I2	I2,6
Fer en Fe	traces	traces	traces	0,65	0,3	0,6	0,25	0,7	0,3	0,3	0,35	0,25	0,I	0,I	0,2	0,3	0,5	0,55	0,7	0,55	0,5	0,2	0,4	0,35	0,8	0,85	0,95

minéraux ou engrais introduits dans l'eau à forte dose, en excès, et de les restituer ensuite progressivement suivant les besoins des végétaux, les maintenant toujours à un taux plus bas, variant dans d'étroites limites.

– *technique employée*

Des parallélipipèdes de vase exondée, mais encore humide, ont été découpés à la bêche dans les queues d'étangs de Coupe Gorge et La Plaine, et déposés au fond de cuves de verre hautes d'une capacité de 15 litres.

La stratification naturelle de la vase a été conservée au cours de cette opération.

– *première série d'expériences*

10 litres d'eau distillée furent alors introduits dans les cuves. Après 12 heures de contact, puis 24 heures, de l'eau avec la vase, les dosages suivants furent effectués: pH, DH, matières organiques, ammoniaque, nitrites, nitrates, phosphates, calcium, magnesium, alcalinité, fer.

Les résultats sont consignés dans les *tableaux XX et XXI*

Chaque série d'analyses nécessitait un prélèvement d'un litre d'eau dans les bacs; cette eau était remplacée par un litre d'eau bidistillée.

A chaque prélèvement il y avait donc un affaiblissement artificiel de la teneur en sels minéraux et composés organiques dans les cuves, et si on constatait cependant une stabilité ou même une augmentation de la teneur de ces sels minéraux et organiques, c'est que la vase en restituait à l'eau qui la recouvrait.

Les résultats des analyses montrent que, presque immédiatement (voir analyses faites 12 heures et 24 heures après la mise en contact) la vase céde à l'eau une quantité importante de sels minéraux et, ceci, à des doses comparables à celles qu'on trouve en cours d'année dans les étangs où nous avons prélevé la vase.

La restitution à l'eau de remplissage d'une partie des sels minéraux contenus dans la vase asséchée d'un étang est donc presque instantanée.

Nous avons ensuite continué à doser dans les cuves les mêmes éléments tous les deux jours pendant deux mois (voir tableau XX et XXI).

Pendant les deux mois qu'ont duré les expériences, des Phanérogames, des Algues et des Entomostracés s'étaient développés dans les cuves, ce qui reproduisait, en miniature, le peuplement des étangs. Ce développement ne fut d'ailleurs possible à cette époque (fin janvier à fin mars) que grâce à la température élevée (22° à 24°) qui régnait dans le laboratoire et nous avons assisté dans nos cuves,

en deux mois, à ce qui se passe habituellement dans la nature en six mois.

Il est alors curieux de comparer les résultats obtenus sur l'eau de la cuve contenant la vase de l'étang de La Plaine à ceux que nous à fourni l'étang lui-même, en cette même année 1955. En raison de la température élevée du laboratoire, on constate qu'au 20 février la composition chimique de l'eau de notre cuve est (sauf pour les nitrites et les nitrates) à très peu de chose près la même que celle de l'eau de l'étang même au mois de juin.

– *deuxième série d'expériences*

Dans cette deuxième série d'expériences nous avons effectué deux essais différents:

1° – dans une cuve montée comme dans la précédente série, avec de la vase de Coupe Gorge, et remplie d'eau distillée, nous avons ajouté: 4,5 g de CO_3Ca.

L'expérience mise en route le 31 janvier 1955 s'est poursuivie jusqu'au 27 mars: 30 dosages de calcium ont été effectués pendant cette période.

Les résultats sont reproduits sur le *graphique X*.

L'examen de ce tableau montre que, le carbonate de calcium étant peu soluble, la teneur de l'eau en calcium monte pendant plusieurs jours, atteint un maximum vers le dixième jour, puis décroît progressivement pour atteindre au bout de deux mois un taux voisin de celui qu'on observe au cours de l'année dans l'étang de Coupe Gorge même.

2° – d'autre part, afin d'effectuer une dernière vérification du pouvoir d'absorption de la vase, nous avons ajouté, dans les deux cuves ayant servi à la première série d'expériences, et contenant l'une de la vase de l'étang de La Plaine, et l'autre de la vase de l'étang de Coupe Gorge: 2,5 g de $(NO_3)_2$ Ca et 4,5 g de PO_4HK_2.

Des dosages de nitrates et phosphates furent faits dans l'eau de ces cuves pendant une semaine. Ils ont donné les résultats consignés dans les *tableaux XXII et XXIII*.

Les prélèvements n° 1 ont été faits sur l'eau des cuves avant l'addition des sels minéraux, les prélèvements n° 2 une heure après l'addition, les n° 3, 9 heures après l'addition.

L'examen de ces tableaux montre encore que les sels minéraux, ajoutés à forte dose, sont absorbés en très peu de temps, et ceci, même en l'absence de toute végétation phanérogamique ou algale.

Il nous faut donc conclure encore ici à une absorption par la vase, absorption beaucoup plus rapide avec $(NO_3)_2Ca + PO_4HK_2$ qu'avec CO_3Ca, ces premiers sels étant beaucoup plus solubles.

TABLEAU XXII

Résultats des analyses en milligrammes/litre

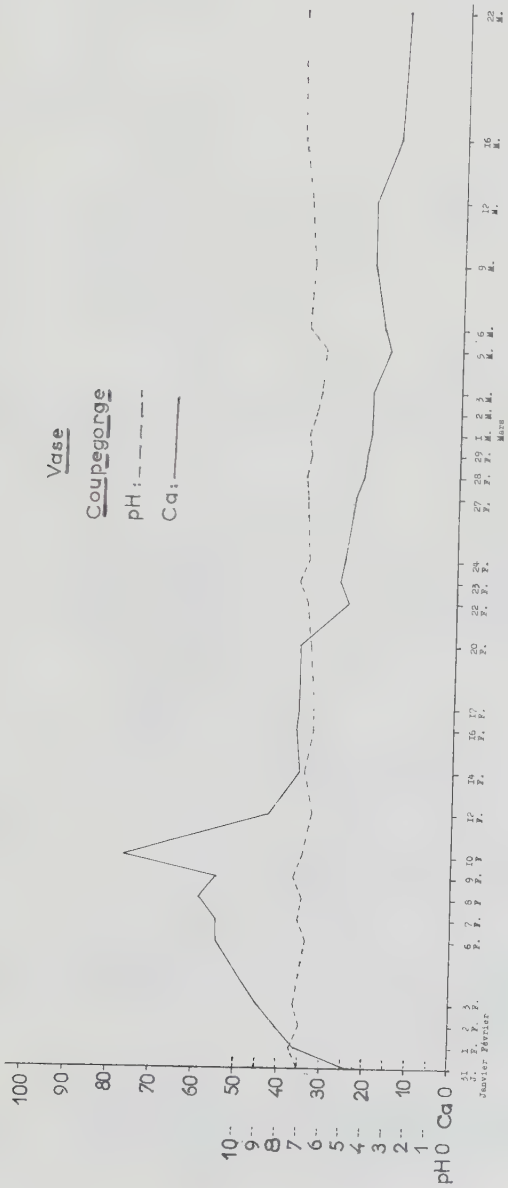
Etang de "La Plaine"	n°I 9/4	n°2 9/4	n°3 9/4	I0/4	II/4	I2/4	I3/4	I6/4	I8/4
pH	7	7,2	7,4	7,3	7,3	7,2	7,I	7,2	7,2
Phosphates en PO4	0	I20	I56	I50	67,5	50	62,5	49	48
Azote nitrique en NO3	0,77	I25,4	I45,8	I3I,7	94	90	88,4	72,9	65,8

TABLEAU XXIII

Résultats des analyses en milligrammes/litre

Etang de "Coupe Gorge"	n°I 9/4	n°2 9/4	n°3 9/4	I0/4	II/4	I2/4	I3/4	I6/4	I8/4
pH	6,2	7	7,I	6,8	6,8	6,9	6,6	6,8	6,8
Phosphates en PO4	0	I90	236	I90	II0	II0	82,5	82,5	82,5
Azote nitrique en NO3	I,8	I32,6	I67,9	I25,4	94	70,7	4I,9	24,7	I6,7

En résumé, la vase semble jouer, dans les collections d'eau naturelles, un rôle régulateur des sels minéraux dissous, les absorbant *lorsqu'ils sont en excés*, les restituant jusqu'à épuisement lorsqu'ils disparaissent peu à peu en raison de leur utilisation par les êtres vivants.



Graphique 10

– *3ème série d'expériences*

A l'époque où nous avons effectué les deux séries d'expériences précédentes sur les vases de l'étang de Coupe Gorge et de l'étang de La Plaine, nous n'avons pas fait d'analyses de vase.

Nous avons voulu remédier à cette omission en faisant à nouveau l'essai sur la vase de l'étang de Coupe Gorge en 1958, et en effectuant alors les analyses de vase après addition dans la cuve de phosphates et nitrates.

Nous avons recherché les phosphates solubles dans l'eau et les phosphates solubles dans l'eau nitrique à 2 % (Brajnikov, Francis-Boeuf & Romanovsky, 1943), en employant la méthode colorimètrique de Fiske et Subbarow.

Les nitrates ont été analysés par micro-Kjeldahl (Mathieu, 1946) en employant l'alliage de Dewarda comme catalyseur.

Nous déduisons des résultats des analyses que la vase qui ne contenait que des traces de phosphates avant addition de 4,5 g de PO_4HK_2 dans l'eau de la cuve, en contenait après celle-ci 5,4 mg par gramme de vase.

Nous pouvons donc conclure des résultats que les phosphates mis dans l'eau sous forme de phosphates solubles sont *immédiatement* adsorbés par la vase et transformés, d'abord en totalité en phosphates insolubles, pour être rendus ensuite, progressivement, à l'état soluble.

Ceci confirme bien les essais précédents.

Le taux de nitrates de la vase passe presque du simple au double *immédiatement* après l'addition de 2,5 g de $(NO_3)_2Ca$ dans l'eau de la cuve.

Ceci confirme également les observations précédentes.

Après cette large parenthèse, revenons maintenant aux variations de la composition chimique des eaux des collections d'eau naturelles stagnantes.

Les différents facteurs susceptibles d'influer sur les variations saisonnières de la composition chimique des collections d'eau naturelles sont: les eaux de remplissage, le pH, la température, l'insolation, le développement de la flore bactérienne, du phytoplancton, du zooplancton, de la flore phanérogamique, et des prédateurs (larves d'Insectes aquatiques, Mollusques, Poissons, etc . . .).

En vue d'apprécier la part que revient à chacun de ces différents facteurs, des pêches de phytoplancton et de zooplancton ont été faites à différentes époques de l'année en même temps que les prélèvements destinés aux analyses chimiques. Des comptages de Bactéries ont également été effectués.

b) – Influence du plancton et des Bactéries

Voici par étang les résultats de ces prélèvements pour le phytoplancton, le zooplancton, et les Bactéries.

Février
- PHYTOPLANCTON très pauvre.
- quelques grandes Diatomées (*Surinella*), Desmidiacées (*Closterium acerosum*), Eugléniens (*Euglena* et *Phacus*).
- ZOOPLANCTON très pauvre: rares Rotifères et larves de Copépodes.
- TEMPÉRATURE: 5°
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 155.000

Mars
- PHYTOPLANCTON très pauvre: rares *Dinobryon*, Péridiniens (*Peridinium*), Eugléniens.
- ZOOPLANCTON très pauvre: rares Rotifères et larves de Copépodes.
- TEMPÉRATURE: 10°
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 16.000

Avril
- PHYTOPLANCTON assez riche, à Eugléniens (*Euglena* et *Trachelomonas*), rares Diatomées.
- ZOOPLANCTON très riche, à Rotifères: *Asplanchna* dominants, Copépodes, Cladocères (*Bosmina*, *Daphnia*).
- TEMPÉRATURE: 12°
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 20.900

Juin
- PHYTOPLANCTON à *Chlamydomonas*, quelques Diatomées et Desmidiacées (*Closterium*).
- ZOOPLANCTON très riche, à Cladocères dominants (*Daphnia longispina*).
- TEMPÉRATURE: 20°
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 900.000

Juillet
- PHYTOPLANCTON à Eugléniens dominants (*Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas*). Rares Protococcales (*Scenedesmus*).
- ZOOPLANCTON moins abondant à Copépodes dominants, rares Daphnies, quelques Rotifères (*Anuraea*, *Brachionus*).
- TEMPÉRATURE: 21°
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 33.000

Septembre
- PHYTOPLANCTON très pauvre à Eugléniens (*Phacus*, Euglénes, *Trachelomonas*), rares Desmidia- (*Closterium acerosum*).
- ZOOPLANCTON assez pauvre, à Copépodes (*Cyclops*) rares Rotifères (*Asplanchna*) et Cladocères (*Daphnia* et *Bosmina longirostris*).

– TEMPERATURE: 17°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm_3: 33.000.

Décembre – PHYTOPLANCTON très pauvre: rares Eugléniens.
– ZOOPLANCTON très pauvre, contenant de nombreux détritus: très rares Rotifères et Cladocères (*Bosmina*).
– TEMPÉRATURE: 11°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 11.000.

ETANG DE COUPE GORGE 1955

Janvier – PHYTOPLANCTON: fleur d'eau à Cyanophycées (*Microcystisflos-aquae* dominant, *Coelosphaerium*).
– ZOOPLANCTON inexistant.
– TEMPÉRATURE: 5°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 16.250.

Février – PHYTOPLANCTON pauvre: disparition progressive de la fleur d'eau à Cyanophycées.
– ZOOPLANCTON tràs pauvre.
– TEMPÉRATURE: 5°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 25.000.

Avril – PHYTOPLANCTON: disparition presque totale des Cyanophycées. Nombreuses Diatomées (*Synedra*) rares *Dinobryon*, nombreux *Volvox*.
– ZOOPLANCTON en progression, à Copépodes (*Cyclops*), Rotifères (*Asplanchna*), rares Cladocères (*Daphinia*, *Chydorus*).
– TEMPÉRATURE: 11°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 10.000.

Juin – PHYTOPLANCTON assez riche, à Péridiniens (*Peridinium* et *Ceratium*), rares *Coelosphaerium*, Diatomées, *Dinobryon* et *Volvox*.
– ZOOPLANCTON très riche, à Copépodes (*Cyclops*), Cladocéres (*Daphnia*), quelques Rotifères.
– TEMPÉTATURE: 20°
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 65.000.

Septembre – PHYTOPLANCTON composé uniquement de Péridiniens (*Ceratium*), rares Protococcales et Diatomées.
– ZOOPLANCTON en régression, à Copépodes et Cladocères (*Bosmina*) dominants.
– TEMPÉRATURE: 18°.
– NOMBRE DE BRACTÉRIES au cm^3: 2.000.

Octobre – PHYTOPLANCTON très riche à *Dinobryon*.
– ZOOPLANCTON: nul.

Décembre – PHYTOPLANCTON très riche à *Dinobryon*.
– ZOOPLANCTON: nul.
– TEMPÉRATURE: 5°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 21.000.

ETANG DE LA TOUR

Mars – beaucoup de détritus dans le plancton.
– PHYTOPLANCTON très pauvre: rares Diatomées
– (*Asterionella*, *Synedra*) et Péridiniens (*Peridinium* et *Ceratium*).
– ZOOPLANCTON pauvre à Copépodes, Cladocères (*Bosmina* et *Chydorus*). Rares Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 10°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³. 760.

Avril – PHYTOPLANCTON pauvre: détritus. Quelques Péridiniens (*Peridinium*) et Cyanophycées (*Anabaena* et *Microcystis*).
ZOOPLANCTON faible à Copépodes, Cladocères et rares Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 10°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 1.830.

Mai – PHYTOPLANCTON plus abondant, moins de detritus Présence de *Microcystis*, *Anabaena*, Volvocales (*Gonium*), Protococcales (*Scenedesmus*); rares Péridiniens (*Peridinium*).
– ZOOPLANCTON en progression: Copépodes, nombreux Cladocères (*Bosmina*) et Rotifèeres (*Asplanchna*).
– TEMPÉRATURE: 19°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 10.000.

Juin – PHYTOPLANCTON pauvre: Péridiniens dominants (*Peridinium*, *Ceratium*). Les espèces précédentes utilisées par le zooplancton ont disparu.
– ZOOPLANCTON très abondant: Cladocères dominants (*Bosmina* et *Daphina*), rares Rotifères et Copépodes.
– TEMPÉRATURE: 17°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 35.500.

Juillet – PHYTOPLANCTON riche, à Chrysophycées (*Mallo*) *monas*), Protococcales (*Scenedesmus*, *Tetraedron*- et nombreux Eugléniens (*Euglena*, *Phacus*, *Trachelomonas*).
– ZOOPLANCTON moins abondant, à Copépodes, Cladocères et très nombreux Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 20°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 12.200.

Septembre – PHYTOPLANCTON pauvre, à Péridiniens (*Peridinium*), rares Protococcales et Chrysophycées (*Dinobryon*).
– ZOOPLANCTON très pauvre (Copépodes et Rotifères).
– TEMPÉRATURE: 14°.

Novembre – PHYTOPLANCTON très pauvre, nombreux détritus. Quelques Cyanophycées (*Microcystis*, *Anabaena*), rares Protococcales (*Scenedesmus*).
– ZOOPLANCTON très pauvre: rares Copépodes, Daphnies et Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 6°.

Décembre – PHYTOPLANCTON très pauvre, nombreux détrinus. Quelques Diatomées filamenteuses (*Melosira* et Cyanophycées (*Microcystis*).
– ZOOPLANCTON très pauvre, rares Rotifères et Cladocères (*Bosmina*).
– TEMPÉRATURE: 4°.

CANAUX DU PARC DE RAMBOUILLET

Mars – PHYTOPLANCTON riche à *Oscillatoria planctonica* et rares *Aphanozimenon gracile*.
– ZOOPLANCTON très pauvre: rares Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 11°5.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 1.570.

Avril – PHYTOPLANCTON riche à *Oscillatoria planctonica*. *Aphanizomenon* en progression.
– ZOOPLANCTON très pauvre: rares Copépopodes et Rotifères.
– TEMPÉRATURE: 15°.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 4.400.

Mai – PHYTOPLANCTON identique à Avrill.
– ZOOPLANCTON en progression.
– TEMPÉRATURE: 20°5.
– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 117.500.

Juin
- PHYTOPLANCTON très riche: *Oscillatoria* et *Aphanizomenon.*
- ZOOPLANCTON très riche à Copépodes (*Cyclops*) dominants, rares Cladocères (*Bosmina*).
- TEMPÉRATURE: 18°.
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 312.000.

Juillet
- PHYTOPLANCTON très riche comportant les mêmes espèces.
- ZOOPLANCTON en nette régression: Copépodes dominants et rares Cladocères (*Bosmina*).
- TEMPÉRATURE: 19°5.
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 11.750.

Septembre
- PHYTOPLANCTON identique à Juillet mais commencant à se décomposer.
- ZOOPLANCTON très pauvre: disparition des Copépodes, présence de rares Rotifères (*Brachionus*).
- TEMPÉRATURE: 17°.

Novembre
- PHYTOPLANCTON modifié: les *Osdillatoria* et *Aphamzomenon* qui commencaient à former fleur d'eau et à se décomposer fin Septembre sont en régression. *Aphanizomenon gracile* qui semble plus résistante domine. *Oscillatoria planctonica* est en très forte régression.
- ZOOPLANCTON très pauvre: rares Copépodes et Rotifères.
- TEMPÉRATURE: 6°.

Décembre
- PHYTOPLANCTON pauvre: rares *Aphanizomenon* et *Oscillatoria.*
- ZOOPLANCTON très pauvre: rares Rotifères (*Brachionus*).
- TEMPÉRATURE: 5°.

LE TROU

Février
- PHYTOPLANCTON assez riche, à Péridiniens (*Peridinium*) et Chrysophycées (*Dinobryon*)
- ZOOPLANCTON nul: rares Rotifères
- TEMPERATURE: 5°.
- NOMBRE DE BACTÉRIES au cm³: 10.000.

Mars
- PHYTOPLANCTON identique au mois de fèvrier.
- ZOOPLANCTON identique au mois de février.
- TEMPÉRATURE: 10°.

	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 12.500.
Avril	– PHYTOPLANCTON stationnaire, enrichi par quelques Protococcales (*Scenedesmus*), Diatomées (*Synedra*, *Nitzschia*) et Desmidiacées (*Arthrodesmus*).
	– ZOOPLANCTON nul.
	– TEMPÉRATURE: 12°.
	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 33.200.
Juin	– PHYTOPLANCTON riche, à Protococcales (*Scenedesmus*, *Selenastrum*, etc. . .), Eugléniens (*Euglena*, *Phacus*), Desmidiacées (*Straurastrum*), et quelques Péridiniens.
	– ZOOPLANCTON très riche, à Cladocéres dominants (*Bosmina*), Copépodes (*Cyclops*) et Rotifères.
	– TEMPÉRATURE: 22°.
	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 700.000.
Juiller	– PHYTOPLANCTON identique à celui du mois de Juin.
	– ZOOPLANCTON très pauvre: très rares Cladoceres, quelques Rotifères.
	– TEMPÉRATURE: 21°.
	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 14.300.
Septembre	– PHYTOPLANCTON pauvre, transformé. Disparition des Protococcales, Eugléniens, Desmidiacées. Présence de *Coelosphaerium* et de petits *Chroococus*.
	– ZOOPLANCTON: légère augmentation, présence de Copépodes, de Cladocères (*Bosmina*), de Rotifères.
	– TEMPÉRATURE: 18°.
	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm_3: 37.500.
Décembre	– PHYTOPLANCTON nul. Rares Péridiniens (*Peridinium*) et Chrysophycées (*Dinobryon*). Beaucoup de détritus.
	– ZOOPLANCTON: nombreux détritus, cadavres de Rotifères en décomposition. Encore quelques Rotifères vivants.
	– TEMPÉRATURE: 5°.
	– NOMBRE DE BACTÉRIES au cm^3: 6.700.

La comparaison des pêches planctoniques faites dans ces différents étangs permet de tirer quelques conclusions.

a) – Le zooplancton ne devient très abondant qu'en fin mai-juin quel que soit le type d'étang considéré.

b) – Dans l'ensemble, la durée de la période d'abondance ou de demi-abondance du zooplancton semble plus grande dans les étangs typiques de plaine (La Plaine) que dans les étangs typiques de forêt (Coupe Gorge, Le Trou). Ce fait s'accorde du reste avec les constatations des pisciculteurs: les étangs de plaine sont considérés comme très supérieurs au point de vue rendement en poisson aux étangs de forêt.

c) – Le comportement qualitatif du phytoplancton et du zooplancton est différent dans les deux étangs typiques de forêt. Il s'en suit que le zooplancton, bien que quantitativement aussi abondant est qualitativement différent.

d) – Il parait difficile de relier directement la production de zooplancton à la qualité du phytoplancton disponible. En effet, dans l'étang de La Plaine, le maximum du zooplancton correspond à un phytoplancton à Eugléniens (*Euglena*, *Trachelomonas*), puis à Volvocales (*Chlamydomonas*).

Dans l'étang de Coupe Gorge ce maximum coincide avec la prolifération de Peridiniens, de Diatomées, et de *Volvox*.

Dans Le Trou ce sont encore les Protococcales et les Eugléniens qui paraissent provoquer la prolifération massive du zooplancton.

Par contre, dans les Canaux du Parc de Rambouillet où le phytoplancton est composé toute l'année et en abondance de deux Cyanophycées filamenteuses paraissant très peu aptes à nourrir des Copépodes, on ne s'explique pas bien comment s'établit également au mois de juin et pendant une période assez courte, un abondant zooplancton dans lequel domine largement ce genre.

Nous ne pouvons donner actuellement aucune explication de ces phénomènes: un travail considérable reste à réaliser dans ce sens.

c) – Cycle théorique des substances dissoutes dans un étang

L'examen et la comparaison de ces résultats va nous permettre, au moins dans certains cas, de donner une explication aux variations de la composition chimique des eaux stagnantes.

Théoriquement et logiquement, nous devrions assister à la succession des phénomènes suivants:

– *en hiver*, en raison des chutes de pluie et de neige, les étangs se remplissent d'eau plus ou moins riche en sels dissous, qui sont en partie absorbés par la vase.

– *au printemps*, grâce à l'élévation de température, et à l'allongement de la durée du jour, les Algues et Phanérogames aquatiques progressent rapidement au détriment des substances dissoutes, d'où, diminution de celles-ci.

– *en été*: cette diminution atteint son maximum; les sels minéraux initialement les moins abondants n'existent plus qu'à l'état de traces, la vase ayant cédé tout ce qu'elle pouvait.

– *en automne*, réduction de l'activité algale et phanérogamique en raison de la baisse progressive de température et de lumière, mort des plantes avec restitution partielle des sels antérieurement utilisés.

d) – Causes de perturbations de ce cycle théorique

En réalité, ce cycle théorique est souvent perturbé, et ceci pour les raisons suivantes:

– les pluies de printemps et d'automne, les orages d'été apportent brusquement dans les étangs des eaux météoriques ou telluriques dont les propriétés biologiques, nous l'avons démontré, sont loin d'être négligeables.

– elles peuvent donc soit favoriser, soit entraver la multiplication de certaines espèces d'Algues, provoquant ainsi, ou bien leur multiplication, ou bien leur destruction massive.

– dans les deux cas il y a répercussion sur la faune planctonique qui se nourrit d'Algues, soit qu'elle se multiplie plus rapidement, soit, au contraire, qu'elle périclite.

– si la population algale augmente, le zooplancton suit, en général, une courbe ascendante parallèle; la disparition des sels dissous s'accélère.

– lorsque la population algale régresse, le zooplancton périclite à son tour.

– A ce moment interviennent les Bactéries qui, dégradant la substance organique solide en provenance des cadavres végétaux et animaux, restitue aux étangs une partie des sels minéraux disparus. Leur teneur dans l'eau augmente, mais pas toujours d'une façon très spectaculaire en raison du pouvoir d'absorption de la vase.

– même en l'absence d'apports extérieurs d'eaux telluriques ou météoriques perturbatrices la composition chimique de l'eau d'une mare ou d'un étang peut brusquement varier pour les raisons suivantes:

on sait que lorsque les Algues se multiplient très rapidement et avec une telle abondance qu'elles puissent former fleur d'eau, il arrive toujours un moment où elles meurent en masse en raison du phénomène d'autoinhibition. Cette masse de matières organiques très divisée est rapidement détruite par les Bactéries. La dégradation s'accompagne d'une restitution de composés organiques et de sels minéraux.

Il arrive que cette restitution soit encore plus importante dans les circonstances suivantes:

la destruction massive des Algues mortes par les Bactéries s'accompagne toujours d'une énorme absorption d'oxygène dissous et de sécrétion de produits toxiques. Il arrive que certaines espèces de Poissons et une foule d'animaux aquatiques meurent alors en masse, venant encore grossir la quantité des substances décomposables, et augmentant ainsi la restitution à l'eau de composés chimiques.

– enfin, en l'absence de toute perturbation extérieure les fluctuations des substances dissoutes peuvent provenir de la plus ou moins grande abondance et rapide destruction par les Bactéries des substances d'excrétion animales et végétales. La température joue un rôle important dans ce processus.

– on ne se fait guère idée de la faculté de destruction de certains animaux aquatiques. Des expériences ont montré qu'une carpe de 2 à 3 kg pouvait absorber, en été, 300 à 400 g de zooplancton par 24 heures.

– il est évident que la destruction, par les Bactéries, des excréments de ces animaux amène de fortes perturbations dans les substances dissoutes d'un étang.

e) – Essai d'interprétation des variations de la composition chimique des eaux observées dans nos étangs d'expériences.

En raison des multiples causes de perturbation de la composition chimique des eaux des collections d'eau naturelles au cours de l'année, causes qui n'interviennent pas simultanément dans toutes, il est difficile de tirer des conclusions d'ordre général.

Cependant, il semble que dans les étangs typiques de forêt (Coupe Gorge, Le Trou), riches en détritus organiques et très envasés, les variations saisonnières des substances organiques dissoutes soient relativement minimes.

Au contraire, à l'étang de La Plaine, très peu envasé, on observe de plus fortes variations avec un minimum en juin.

L'ammoniaque est toujours présente dans les étangs de forêt, probablement en raison de leur forte teneur en détritus de toutes sortes. Le maximum de l'ammoniaque se situe en juillet, après le maximum de Bactéries observé en juin. Ce phénomène est évidemment lié à la température et aussi au maximum du zooplancton qu'on observe à cette époque dans tous les étangs, et dont les excréments, décomposés par les Bactéries, produisent de l'ammoniaque.

Dans les Canaux du Parc de Rambouillet, habituellement peu chargés en détritus organiques, l'ammoniaque n'apparait massivement qu'en novembre et décembre.

Ceci s'explique de la manière suivante:

– nous avons vu que ces Canaux possédent dés le printemps une
– très riche flore algale à *Aphanizomenon* et *Oscillatoria*.
dés la fin de septembre, ces Algues commencent à péricliter, forment une fleur d'eau épaisse qui se décompose assez lentement en raison de la température relativement basse à cette époque de l'année, d'où production d'ammoniaque:

octobre: 0,2 mg/litre
novembre: 0,6 mg/litre
décembre: 0,6 mg/litre

la teneur en ammoniaque semble donc bien liée à la décomposition des Algues mortes.

Le minimum du calcium qu'on observe à peu près dans tous les étangs en juin ou juillet s'explique par l'activité des animaux: zooplancton et surtout Poissons.

Beaucoup d'animaux aquatiques possédent soit un squelette, soit des téguments imprégnés de calcaire; il est donc normal que ce corps disparaisse peu à peu d'une collection d'eau, s'il n'y est pas renouvelé.

On peut cependant observer parfois de faibles remontées de la teneur en calcium à la suite d'une disparition brusque du zooplancton: il y a en effet à ce moment restitution de cet élément en raison de la décomposition des cadavres.

On remarquera également que, dans les Canaux à eau lentement renouvelée par des sources de composition chimique relativement constante, la teneur de l'eau en calcium augmente au contraire de septembre à la fin décembre, au moment du ralentissement de l'activité des êtres vivants aquatiques.

On peu conclure de cela que de mars à octobre, la consommation de calcium par les êtres vivants était supérieure à l'apport de calcium frais effectué par les sources.

Les variations quant au résidu sec ne suivent pas exactement celles du calcium, bien que le calcium constitue une partie très importante du résidu sec à 180°.

D'une manière générale, le résidu sec décroît d'avril à septembre, puis remonte en septembre-octobre.

Les variations peuvent être dûes aux fluctuations de l'activité des Diatomées qui mobilisent une fraction importante de la silice également toujours présente dans les eaux d'étangs.

On remarquera encore que les variations du résidu sec dans les Canaux ne suivent pas celles des autres étangs en raison du lent renouvellement de l'eau par les sources.

Les variations saisonnières des phosphates, très nettes, sont dûes, elles aussi, à leur utilisation massive par le phytoplancton et les Phanérogames aquatiques.

Pendant toute la période avril-septembre, pendant laquelle la

température est relativement élevée et la photosynthèse active, leur concentration est très faible dans les eaux de tous les types d'étangs.

Le second maximum qu'on observe en octobre est probablement dû à la restitution des phosphates à l'occasion de la décomposition par les Bactéries des Phanérogames mortes.

Mais ce second maximum ne persiste pas longtemps car le phytoplancton, retrouvant en relative abondance un élément particulièrement favorable à sa multiplication et n'étant plus détruit par le zooplancton faible à cette époque, reprend une nouvelle activité et consomme à nouveau la presque totalité des phosphates.

Les courbes des nitrates sont particulièrement intéressantes à observer. Les nitrates constituent, avec les phosphates, un des éléments limitants de la végétation cryptogamique et phanérogamique.

Ils sont toujours présents dans les étangs en très faible quantité: à l'état de traces pendant presque toute l'année dans les étangs de forêt, à la dose de quelques milligrammes par litre dans les étangs de plaine, remplis par ruissellements sur sols cultivés.

A l'étang de La Plaine, alimenté en janvier par un fossé drainant des eaux fortement chargées en nitrates (66,3 mg/litre), il y a eu immédiatement absorption par la vase de cet excés de nitrates. L'eau de l'étang lui-même n'en contenait que 26,5 mg/litre qui tombaient à 4,4 mg/litre seulement dés le début de février, et sans qu'aucune activité des Algues ou des Phanérogames se soit produite, les pêches planctoniques montrant qu'à cette époque le phytoplancton était très pauvre.

A partir de mars-avril, les plantes entrant en pleine activité, les nitrates sont utilisés et disparaissent presque entièrement: ils n'existent plus qu'à l'état de traces.

La décomposition des Phanérogames d'octobre à janvier ne semble pas apporter de modification à la teneur des eaux en nitrates. Il faut croire qu'ils sont absorbés par la vase en presque totalité.

Nous notons cependant une exception pour les Canaux qui, nous le répétons, sont soumis à un lent renouvellement de leurs eaux par des sources.

Dans ce cas, comme pour les phosphates, nous observons une montée en flêche des nitrates à partir de fin septembre, lorsque l'activité du très dense peuplement de cette pièce d'eau en *Oscillatoria* et *Aphanizomenon* se ralentit.

X - VARIATIONS SAISONNIERES DES PROPRIETES BIOGENIQUES DES EAUX POUR LES ALGUES

On sait que, dans les collections d'eau naturelles, la flore algale évolue au cours de l'année qualitativement et quantitativement.

TABLEAU XXIV

Etang de la "Plaine" ~~(Cluvoir)~~	Janvier	Février	Juin	Juillet	Septembre	Octobre
Cosmarium Lundellii	+ + +	+	+	+ +	+	–
Pediastrum clathratum	+ +	+ + +	+	+ + +	+ +	+ +
Scenedesmus oahuensis	+ + +	+	+ + +	+	– – –	–
Phormidium uncinatum	+ +	+	–	+	–	–
Nitzschia palea	+	+ + +	– – –			–

TABLEAU XXV

Etang de "Coupe Gorge" ~~(Lande)~~	Janvier	Fevrier	Juin	Juillet	Septembre	Octobre
Cosmarium Lundellii	+ +	–	+	– – –	+ + +	–
Pediastrum clathratum	+ + +	+	+	+ + +	– –	+ +
Scenedesmus oahuensis	+ + +	+ + +	+ + +	+	+ +	–
Phormidium uncinatum	– (filaments non stries)	+ +	– filaments non colorés	+	–	+ + +
Nitzschia palea	–	+ +	–		+ +	+

Cette évolution est la conséquence des modifications de la composition physico-chimique de l'eau.

On pourrait croire que les facteurs température et lumière ont une action prépondérante sur l'évolution. Les essais suivants vont nous fixer sur cette question.

A différentes époques de l'année, nous avons testé la valeur biogénique de l'eau d'un même étang sur les mêmes Algues provenant de cultures unialgales cloniques, et ceci *dans les conditions constantes de température et de lumière.*

Voici les résultats obtenus:

– étang de La Plaine, tableau XXIV.
– étang de Coupe Gorge, tableau XXV.
– étang Le Trou, tableau XXVI.
– Canaux du Parc de Rambouillet, tableau XXVII.

TABLEAU XXVI.

Etang "Le Trou"	Février	Juin	Juillet	Septembre	Octobre
Cosmarium Lundellii	- - -	+	+ +	+	+ +
Pediastrum clathratum	+ +	+	+ + +	+ + +	+
Scenedesmus oahuensis	+ + +	+	+	+ +	+
Phormidium uncinatum	+	-	+ +	-	+ +
Nitzschia palea	-	-		-	-

L'examen de ces tableaux montre nettement que la valeur biogénique de l'eau d'un même étang varie au cours de l'année pour une même espèce d'Algue, et ceci en dehors de toute influence *directe* de température et de lumière, puisque les essais au laboratoire ont été faits en entretenant ces deux facteurs constants.

XI - CAUSES DES VARIATIONS SAISONNIERES DES PROPRIETES BIOGENIQUES, POUR LES ALGUES, DES EAUX NATURELLES.

Il a été démontré qu'il suffit de *traces des sels minéraux* indispensables au développement des Algues pour obtenir, au moins pendant quelques jours, une multiplication correcte de celles-ci, mais aussi que certaines d'entre elles exigeaient des traces de matières organiques (substances de croissance, etc...).

Or, si nous nous reportons aux tableaux d'analyses chimiques des eaux des étangs sur lesquelles les tests de valeur biogénique ont été effectués, on voit que les sels minéraux existent toujours dans ces eaux en quantité plus que suffisante pour permettre la multiplication des Algues, si d'autres facteurs n'intervenaient pas.

Il nous a alors paru raisonnable de penser que les différences observées étaient dûes à des substances organiques actives, soit favorisantes, soit abiotiques, secrétées, soit par des Bactéries, soit par des Algues, soit encore par les animaux du zooplancton.

Sachant que ces substances sont souvent thermolabiles ou adsorbables par le charbon, nous avons effectué plusieurs tests avec des eaux d'étangs filtrées, puis soumises une heure à l'ébullition avec réfrigérant à reflux ou, agitées avec du charbon végétal lavé.

Les tableau XXVIII, XXIX, XXX, résument les résultats de cette espérience.

TABLEAU XXVII

"Canaux" du Parc de Rambouillet	Septembre	Octobre
Cosmarium Lundellii	- - -	- (une division, puis blocage)
Cosmarium obtusatum	- (cellules granuleuses)	+ + +
Micrasterias papillifera	+ + (cellules très granuleuses - grosses matières de réserve)	- (cellules très granuleuses)
Pediastrum clathratum	-	-
Scenedesmus oahuensis	- (une division, puis blocage)	+
Ankistrodesmus falcatus	-	-
Phormidium uncinatum	-	-

TABLEAU XXVIII

Etang de "La Plaine"	Eau filtrée	Eau bouillie	Eau charbon
Cosmarium Lundellii	+	+	- (dissociation du contenu des cellules)
Pediastrum clathratum	+ + +	-	+ +
Scenedesmus oahuensis	+	+ + +	+ +
Phormidium uncinatum	+	+ +	+
Nitzschia palea	+ + +	+ + +	- - -
Closterium acerosum	+	-	- - -

TABLEAU XXIX

Etang de "Coupe Gorge"	Eau filtrée	Eau bouillie	Eau charbon
Cosmarium Lundellii	–	+ + +	+ (nombreux corpuscules trépidants)
Pediastrum clathratum	+	+ +	–
Scenedesmus oahuensis	+ + +	+ + +	
Phormidium uncinatum	+ +	+	–
Nitzschia palea	+ +	+	–
Closterium acerosum	+	+	– – –

TABLEAU XXX

Etang "Le Trou"	Eau filtrée	Eau bouillie	Eau charbon
Cosmarium Lundellii	– – –	–	+ + (nombreux corpuscules trépidants)
Pediastrum clathratum	+ +	+ +	–
Scenedesmus oahuensis	+ + +	+ + +	–
Phormidium uncinatum	+	+	+ (Hormogonies - quelques filaments détruits)
Nitzschia palea	–	+ + +	– – –
Closterium acerosum	+ + +	+	+

L'examen de ces tableaux montre que l'action, soit de la chaleur, soit du charbon, modifie très souvent les propriétés biogéniques des eaux pour les Algues, soit favorable dans un sens, soit, au contraire, défavorable.

Si nous nous reportons encore aux tableaux d'analyses chimiques, nous voyons qu'au cours des saisons la quantité de matières organiques dissoutes, dosées globalement au permanganate, évolue dans les étangs.

De tout ce qui précède il semble bien résulter que les variations de la microflore dans les collections d'eau naturelles stagnantes sont surtout dûes aux variations qualitatives et quantitatives des composés organiques dissous. Il est évident que nous n'envisageons pas ici les différences de microflore imputables à une composition inhabituelle des eaux: très forte teneur en calcium, sodium, magnesium, etc...

Il est à remarquer que la valeur biogénique de l'eau pour une même Algue, et à une même époque, varie suivant le type d'étang (plaine ou forêt.)

Les substances organiques actives sur les Algues proviennent, soit de l'activité bactérienne, soit des produits métaboliques issus de l'activité du phytoplancton et du zooplancton.

On remarquera qu'il y a très souvent une profonde modification de la valeur biogénique des eaux d'un même étang pour les mêmes Algues au moment du maximum bactérien, c'est à dire au mois de juin. Il est probable que les substances excrétées par les Bactéries sont responsables de ce phénomène.

Enfin, nous avons vu que les eaux météoriques, d'infiltration et de ruissellement apportaient aux étangs des substances organiques actives dont l'action n'est pas négligeable. Il est donc possible que ces eaux (pluies, orages) concourent à l'évolution saisonnière et à la succession des microflores dans les collections d'eau naturelles.

Nous ne croyons pas que le pH ait en lui-même une grande influence sur la multiplication des Algues dans les collections d'eau naturelles, à condition évidemment de ne pas le considérer dans ses limites extrêmes.

En effet, le pH n'est qu'une résultante: PACAUD (1939) écrivait à ce sujet: „... presque toujours, lorsque'on peut analyser d'une manère approfondie le déterminisme des faits observés, on trouve que le facteur limitant n'est pas le pH lui-même mais quelqu'autre condition liée de façon plus ou moins directe à la réaction du milieu". Et comme „autres conditions", il cite en particulier l'influence des substances humiques, la teneur du milieu en sels minéraux et plus particulièrement en calcium, l'influence de la quantité de particules en suspension dans l'eau et du gaz carbonique dissous.

Spillmann (1940) constate, au cours de l'examen des relations entre l'état physico-chimique de l'eau et le zooplancton qu'„au point de vue pH, il n'y a aucune relation évidente".

Et Lefevre (1940) écrit: „Comme pour les Cladocères on peut constater que les causes profondes qui conditionnent l'apparition et la disparition des Algues sont multiples et plus nombreuses encore que pour les Entomostracés, car les plantes se nourrissent non à l'aide d'élément figurés, mais par osmose et peuvent par conséquent être influencées par les moindres traces de sels minéraux ou organiques dissous. Aussi les facteurs écologiques qui conditionnent le pullulement des Algues sont-ils loin d'être tous connus et appréciés à leur juste valeur. On ne commencera, à mon sens, à élucider définitivement le problème que lorsqu'on pourra définir dans les biotopes le rôle certainement considérable des produits de désintégration des cadavres animaux et végétaux par les Bactéries et Champignons inférieurs...

En résumé, le pH d'une collection d'eau naturelle est la résultante des réactions réciproques d'un complexe physico-chimique et de son peuplement.

Si le complexe physico-chimique posséde une grande marge de stabilité (effet tampon), les conséquences chimiques du métabolisme du peuplement se feront peu ou pas sentir: le pH restera stable.

Si, au contraire, le complexe physico-chimique est en équilibre instable, l'action biochimique du peuplement aménera une variation du pH entre des limites impossibles à prévoir parce que dépendant d'une foule de facteurs.

Le pH envisagé seul n'a donc, dans la plupart des cas, qu'une signification bien minime en hydrobiologie".

Enfin Villeret (1955) écrit: „... on a peut-être mis l'accent trop totalement sur le pH qui est lié à des facteurs nombreux et complexes. Et un de ces facteurs, capital pour l'existence de telle ou telle espèce peut varier indépendamment mais en même temps que le pH à qui on attribue alors une action décisive".

La preuve de ce que nous avançons réside en ce fait qu'il est possible de cultiver des Algues de tourbières à *Sphagnum* (très acides) dans des milieux synthétiques de pH légèrement alcalin (pH: 7,5—8), à condition de les maintenir en cultures unialgales.

La pauvreté des eaux de tourbières à *Sphagnum* en calcium nous parait beaucoup plus déterminante dans la présence d'Algues spécifiques de ces biotopes que le pH en lui-même.

L'apport, en cours d'année, par les eaux météoriques ou telluriques, de substances chimiques indispensables et à action limitante, peut également contribuer à modifier la microflore des collections d'eau naturelles.

Toutes les Algues n'ont pas les mêmes exigences au point de vue substances minérales dissoutes: certaines d'entre elles demandent, par exemple, la présence de notables quantités de phosphates et de nitrates. D'autres sont moins exigeantes à ce sujet. Cela explique les variations possibles de la microflore suivant les apports extérieurs.

Nous ne pensons pas que la température en elle-même joue un rôle de premier plan dans l'évolution saisonnière des microflores, du moins au point de vue qualitatif.

On s'accorde cependant à reconnaître des „espèces d'été" et des „espèces d'hiver".

Mais on observe parfois des multiplications massives aberrantes d'espèces d'hiver au mois de juillet (cas de *Peridinium palatinum*, par exemple, espèce considérée comme hivernale, et trouvée au 14 juillet en telle masse qu'elle formait fleur d'eau).

Il parait beaucoup plus probable que la température agit sur l'activité bactérienne, et que ce sont des substances issues du métabolisme bactérien qui favorisent la plus ou moins grande intensité du développement de certaines espèces d'Algues. Si pour une raison quelconque ces substances actives se trouvent dans l'eau hors saison rien ne s'oppose à un développement massif de ces Algues.

XII – DISCUSSION

Nos observations relatives à la composition chimique des eaux météoriques s'accorde avec celle de Gorham (1955—1957). Cet auteur dit en effet que les eaux de pluie qu'on a considérées longtemps comme de l'eau presque distillée contiennent en réalité un quantité importante de sels dissous, dont l'apport dans les collections d'eaux spécifiquement pauvres (comme par exemple certains lacs de montagnes ou des mares ou étangs sur sols granitiques) est loin d'être négligeable.

Nos recherches étendent cependant celles de Gorham en ce sens que nous avons montré que la faible quantité de matières organiques contenue dans les eaux météoriques pouvait avoir une action spécifique, soit favorisante, soit antibiotique, pour les Algues, donc était susceptible de jouer un rôle dans leur écologie.

Nos observations, sur l'importance capitale des substances organiques dissoutes, pour les Algues, au point de vue écologique, s'accordent avec celles de nombreux chercheurs.

En 1945, Lefevre, Spillmann & Duche avaient déjà observé que „. . . les matières organiques jouent un rôle de premier plan en hydrobiologie".

Ils avaient même commencé l'étude expérimentale de l'action sur les Algues des produits de décomposition, par des champignons aquatiques, de diverses substances organiques solides.

Ils avaient déjà reconnu que les substances organiques solubles, issues de la décomposition des animaux, avaient une action différente et beaucoup plus énergique que celles fournies par la décomposition des plantes.

Depuis, cette notion d'importance des matières organiques dissoutes, en provenance soit des Bactéries, soit des Algues elles-mêmes, a été admise par de nombreux chercheurs. Ceux-ci reconnaissent que la composition chimique *minérale* des eaux est loin de pouvoir, à elle seule, en dehors de cas extrêmes, expliquer la répartition des Algues, et qu'il faut bien convenir que les substances organiques les plus diverses issues des êtres vivants aquatiques ont une action énergique dans ce domaine (CHU, 1943) (HUTCHINSON, 1950) (HASLER & JONES, 1949) (LEFEVRE, 1958) (VILLERET 1955).

Très peu d'auteurs se sont jusqu'ici occupés de l'isolement et de la détermination des substances organiques actives contenues dans les eaux naturelles. En effet, ces substances ne sont présentes qu'à doses extrêmement faibles d'où la raison de multiples échecs; VILLERET (1955) écrit à ce sujet „La nature des substances organiques dissoutes dans les eaux douces est pratiquement inconnue."

SAUNDERS (1957) reconnait l'importance de ces substances issues du métabolisme de tous les êtres vivants aquatiques au point de vue écologique. Il considère que les travaux doivent être menés de front au laboratoire et sur le terrain, que les méthodes d'analyse fine des substances organiques n'en sont qu'à leur début, mais que cependant quelques rares chercheurs se sont déjà attaqués à la question.

Sa conclusion est qu'une ère nouvelle s'ouvre dans les recherches sur les interactions entre substances organiques dissoutes, phytoplancton et zooplancton.

SHAPIRO (1957—1958) a étudié dans ce domaine les substances qui communiquent à certaines eaux une teinte plus ou moins brune et qu'on nommait jusqu'ici: acides humiques. Ceci fut possible parce que ces substances existaient souvent en très notable proportion dans ces eaux.

D'après ses recherches elles seraient constituées des sels d'un petit nombre d'acides voisins des acides humiques mais non identiques à ceux-ci. Il propose pour eux le nom d'acides „humolimniques".

Le fait important est que SHAPIRO a effectué avec ces substances des tests biologiques sur des Algues et qu'il leur a reconnu en certains cas une action favorisante entre les doses de 5 à 50 mg/litre.

En ce qui concerne l'influence des variations de la composition chimique des eaux sur la microflore, VILLERET pense que ces variations semblent ne pas influencer la flore algale tant qu'elles ne sont pas liées à des phénomènes de fermentation ou de décomposition anaérobies.

C'est exactement notre avis.

Nos observations et expériences de laboratoire sur le pouvoir d'absorption de la vase vis à vis des sels minéraux introduits brusquement en excés dans une collection d'eau confirment celles de LEFEVRE et collaborateurs (1945), NISBET (1952) et VILLERET (1955). Nous pensons cependant avoir apporté quelques précisions sur cette question.

Après les observations de PACAUD (1939), SPILLMANN (1940), LEFEVRE (1940), VILLERET (1955) sur le peu de valeur du pH en tant que facteur conditionnant *directement* la multiplication des Algues dans les eaux *naturelles* nous ne pensons pas qu'il soit utile de revenir sur la question.

COLLINS (1957) signale que quelques relations entre Algues et Bactéries ont été établies mais que des problèmes plus complexes tels que la stimulation ou l'inhibition réciproques entre Algues et Bactéries par leurs produits d'excrétion n'ont pas été abordés.

Elle reconnait également que très peu de recherches fondamentales ont été faites sur la bactériologie des eaux stagnantes, ce qui fait qu'on connait très peu de chose sur les relations entre Bactéries, phytoplancton et zooplancton.

C'est dans le but d'apporter une contribution à cette importante question que LEFEVRE a étudié encore très superficiellement d'ailleurs la flore bactérienne de plusieurs étangs et son évolution saisonnière.

Ce sont les résultats de LEFEVRE que nous avons utilisés dans le présent travail, ces recherches ayant été effectuées parallèlement aux notres, dans les mêmes étangs.

Malheureusement les anaérobies de la vase n'avaient pas été étudiées, et nous pensons qu'elles doivent cependant jouer un rôle fort important dans le métabolisme des composés organiques dissous.

Nous avons tenté, par des tests biologiques, de montrer l'importance de l'action sur les Algues des substances organiques dissoutes dans les eaux d'alimentation des étangs, les variations de ces substances et de leurs effets au cours de l'année, les causes des variations de la composition chimique des eaux stagnantes, en tentant de les expliquer par les interactions entre substances dissoutes, Bactéries, flore et faune: ce point de vue, à notre connaissance, n'avait jamais été encore sérieusement abordé, sauf par VILLERET (1955).

Cependant, cet auteur ayant étudié spécialement les tourbières à *Sphagnum*, biotopes très spéciaux à la fois du point de vue bactérien et population animale (grande pauvreté en zooplancton, absence totale de poissons), nos observations et résultats, bien que se rejoignant sur de nombreux points, ne peuvent être absolument superposables.

XIII – CONCLUSIONS

Après une très longue période pendant laquelle les auteurs ont cru à l'influence prépondérante des sels minéraux dissous en tant que facteurs chimiques affectant l'écologie des Algues, on s'est aperçu assez récemment, en raison des multiples divergences de vue entre ces auteurs, que les composés organiques de diverses origines devaient avoir une importance au moins aussi grande, voire supérieure, à celle des substances minérales.

En vue d'apporter une contribution aux travaux de cette nouvelle école, nous avons recherché la présence de matières organiques dans les eaux d'alimentation des collections d'eau naturelles (eaux météoriques, telluriques, de sources) et étudié, par des tests biologiques, les propriétés, soit antibiotiques, soit favorisantes, de ces substances organiques sur les Algues d'eau douce.

Nous avons également rechercher dans les interactions entre plantes, animaux et Bactéries aquatiques considérés surtout au point de vue de leurs possibilités de destruction, de restitution, ou de production de substances minérales ou organiques biologiquement actives, les causes des variations saisonnières de la composition chimique des eaux et de leur possible influence sur le développement de la microflore.

Nous avons constaté que nos observations apportaient confirmation à de nombreux travaux de nos devanciers, notamment sur les points suivants: insuffisance de la notion de pH, de la composition chimique minérale des eaux, de la température, de l'éclairement, pour expliquer l'écologie des Algues, et aussi les raisons de leurs accidentels développements massifs; importance considérable des substances organiques de composition encore presque inconnue agissant énergiquement à des doses extrêmement faibles; insuffisance notoire des renseignements fournis par la détermination globale du taux des matières organiques dissoutes par la méthode de l'oxygène emprunté au permanganate de potassium.

En résumé, nos conclusions sont les suivantes:

– les eaux météoriques contiennent toutes des sels minéraux capables de permettre la multiplication d'un certain nombre d'espèces d'Algues.

– les composés organiques, qu'elles contiennent également, peuvent soit favoriser, soit, au contraire, inhiber cette multiplication.

– les eaux de ruissellement sont beaucoup plus riches que les eaux météoriques en sels minéraux et composés organiques dissous.

– cependant, leurs propriétés biogéniques pour les Algues varient suivant qu'elles ruissellent sur des terres cultivées, ou des sols forestiers.

– la nature des substances organiques dissoutes dans ces diverses eaux semble beaucoup plus déterminante pour la multiplication des Algues, que la concentration de ces eaux en sels minéraux indispensables.

– en conséquence, l'introduction de matières organiques dans un étang, par des eaux météoriques et de ruissellement (pluies prolongées, orages), peut modifier brusquement et considérablement sa microflore. Ceci se vérifie d'ailleurs nettement dans la nature.

– la teneur des eaux stagnantes en sels minéraux et composés organiques dissous varie au cours des saisons.

– ces variations sont imputables aux propriétés d'absorption de la vase, aux fluctuations du peuplement animal et végétal aquatiques, à l'apport d'eaux nouvelles en cours d'année.

– en général, les eaux stagnantes de forêt sont très rapidement épuisées en phosphates et nitrates, substances limitantes, qui n'y existent qu'en très faible quantité, même au moment du remplissage, et ceci explique pourquoi on n'observe que rarement dans de tels étangs des développements massifs d'Algues pouvant former d'épaisses fleurs d'eau.

– dans les étangs de plaine recevant des eaux plus riches en nitrates et phosphates, la vase absorbe rapidement l'excédent de ces sels, et les restitue peu à peu ultérieurement.

– la cause de cet épuisement est le développement massif du phytoplancton et des Phanérogames aquatiques.

– le seul phytoplancton, lorsqu'il se multiplie en abondance, est capable, en été, d'utiliser complétement les phosphates et nitrates, même lorsque ceux-ci sont lentement renouvelés par l'apport de sources (cas des Canaux du Parc de Rambouillet).

– il y a parfois restitution temporaire des phosphates à l'occasion de la décomposition, par les Bactéries, d'un abondant phytoplancton ou zooplancton en cours de mortalité.

– le maximum des Bactéries aérobies dans toutes les eaux, quel que soit leur type, coincide avec le maximum du zooplancton.

– ce maximum semble indépendant de la teneur des eaux en matières organiques dissoutes, mesurées en oxygène emprunté au permanganate.

– il ne semble pas non plus en rapport avec la température de l'eau, celle-ci étant généralement plus élevée en juillet et août, et le nombre des Bactéries étant cependant plus faible dans les eaux à cette époque.

– il est probable que la nature des matières organiques dissoutes (prédominance animale ou végétale) influe sur le nombre des Bactéries, les premières étant plus fermentescibles que les secondes.

– il est également probable que les Algues se développant en masse

dans certains étangs (Canaux du Parc de Rambouillet, par exemple) limitent, par leurs substances d'excrétion, le nombre des espèces de Bactéries présentes au même moment (action antibiotique).

– la teneur des eaux en matières organiques dissoutes ne détermine pas à elle seule la présence massive de Cyanophycées; c'est surtout la nature de ces substances qui est déterminante.

– mais il n'est pas impossible que ces mêmes substances d'excrétion favorisent la multiplication d'un nombre limité d'autres espèces, qui se multiplient alors avec exubérance.

– la valeur biogénique des eaux d'un même étang varie pour les mêmes espèces d'Algues au cours de l'année.

– ces variations *ne semblent liées directement ni à la température, ni à la lumière, ni au pH.*

– elles sembleraient, au contraire, liées à la présence de substances organiques thermostables ou thermolabiles, plus ou moins adsorbables par le charbon activé, provenant du métabolisme des Bactéries qui, elles, sont beaucoup plus influencées par les facteurs température et pH.

– l'influence des substances organiques dissoutes, en provenance, soit du métabolisme bactérien, soit du métabolisme algal, soit du métabolisme des animaux inférieurs et supérieurs, nous parait extrêmement importante pour expliquer soit la présence, soit le développement massif, soit l'absence, de nombreuses Algues.

Il n'a pas encore été possible de déterminer la nature de ces molécules organiques d'ailleurs très labiles, ni, naturellement, de préciser l'influence de chacune d'elles.

Bibliographie

Abbott, W. - 1957 - „Unusual phosphorus source for plankton algae" *Ecology, U.S.A.*, 38, n° I, *152.*

Bach, D. - 1933 - „Le dosage de l'azote nitrique par la méthode de Devarda. Application aux milieux biologiques", *Bull. Sci. Pharm.*, XL, *459.*

Bargellini, Y., Pianto, E. del, Marini & Bettolo, - 1946 - „Sur l'activité antibactérienne de deux acides licheniques: l'acide usnique et l'acide vulpinique", *Atti. Acad. Naz. Linchei Rendic. Cl. Sc. Fis. Mat. Nat.*, I, n° 12, *1252—1255.*

Barjac, H. - 1955 - „Essai d'interprétation bactériologique de sols tourbeux acides", Thése de Doctorat, Paris.

Bartsch, A. F. - 1945 - publié 1948, „A heavy mortality of fishes resulting from the decomposition of algae in the Yahara River, Wisconsin", *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 75, *177—180.*

Becker, Y., Guillemat, J., Guyot, L. & Lelievre, D. - 1951 - „Sur un aspect phytopathologique du problème des substances racinaires toxiques", *C. R. Acad. Sci.* Paris, n° 2, *233*, 198.

Benoit, R. J. - 1955 - „Relation of phosphorus content to algae blooms", *Sewage industrial water, U.S.A.*, 27, n° 11, *1267—1269.*

BERE, R. - 1933 - „Numbers of Bacteria in inland lakes of Wisconsin as shown by the direct microscopic method", *Int. Rev. Hydrobiol.*, 29, *248.*

BIEDERMANN, W. & SCHWARZENBACH, G. - 1948 - „Dosage du calcium et du magnesium par le Complexon III", *Chimia*, 2, *56.*

BIRGE, E. A. & JUDAY, C. - 1934 - „Particulate and dissolved organic matter in inland lakes", *Ecol. Monogr.*, 4, *440—474.*

BOURCART, J., & FRANCIS-BEUF, C. & ROMANOVSKY, V.- „Techniques d'étude des sédiments et des eaux qui leur sont associées", 1943, Actualités Sc. et Indus., 952.

BRANNON, M. A. - 1937 - „Algae and growth substances", *Science*, 86, *353.*

BRANNON, M. A. & BARTSCH, A. F. - 1939 - „Influence of growth substances on growth and cell division in green algae", *Amer. J. Bot.*, 26, *271—279*

BRAUS, H., MIDDLETON, F. M. & WALTON, G. - 1951 - „Organic chemical compounds in raw and filtered surface waters", *Anal. Chem.*, 23, *1160—1164.*

BROOKE, M. - 1953 - „Carbonate alkalinity indicators", *J. chem. Educ.; U.S.A.*, 30 n° 8, *419—420.*

BRUNISHOLZ, G., GENTON, M. & PLATTNER, E. - 1953 - „Sur le dosage complexométrique du calcium en présence de magnesium et de phosphates" *Helv. Chim. Acta*, XXVI, *782.*

BURSCHE, E. M. - 1955 - „Beitrag zur Frage des Krautschwundes in H2S - Oscillatoria", Seen. *Z. Fischerei*, 4, n° 1—2, *53—99.*

BUYDENS, R. & MUYLLE, R. - 1952 - „Dosage du fer dans les eaux", *Bull. Centre Belge Eaux*, n° 18, *241—345.*

BUTTERFIELD, C. T. & PURDY, W. C. - 1931 - „Some interrelationships of plankton and bacteria in natural purification of polluted water", *Ind. and Eng. Chem.*, 13, *213—218.*

CHARLOT, G. & BEZIER, D. - 1955 - „Analyse quantitative minérale", Masson.

CHARLOT, G. & GAUGUIN, R. - 1952 - „Dosages colorimétriques", I vol. 243 pages.

CHOLODNY, N. - 1929 - „Zur Methodik der quantitativen Erforschung des bakteriellen Planktons", *Zbl. Bakt.* (2), 77, *179—193.*

CHU, S.P. - 1943 - „The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planctonic algae - Part. II - The influence of the concentration of inorganic nitrogen and phosphate phosphorus", *J. Ecol.*, 32, n° 2, *109—148.*

COFFIN, C. C., HAYES, F. R., JODREY, L. H. & WHITEWAY, S. G. - 1949 - „Exchange of materials in a lake as studied by the addition of radioactive phosphorus", *Canad. J. Res.*, 27D, n° 4, *207—222.*
et voir aussi: *Nature Lond.*, 1949, 163, *963—964.*

COFFIN, C. C. - 1951 - voir à HAYES.

COLLINS, G. - 1957 - „Planctonic Bacteria", *J. gen. Microbiol.*, 16, n° 1, Febr. 1957.

COSANDEY, E. - 1955 - „Etude hydrobiologique du lac de Bret. Ecologie, Systématique, périodicité et association du phytoplancton", *Schweiz. Z. Hydrol.*, 17, n° 1, *1—86.*

COULON, F. - 1956 - „Über die Fettbildung und den Plastidenformwechsel bei Nitzschia palea", *Arch. Protistenk.*, 101, n° 4, *443—476.*

DANGEARD, P. A. - 1921 - „Observations sur une Algue cultivée à l'obscurité depuis huit ans", *C.R. Acad. Sci.*, Paris 172,*254.*

DATTA, S. P. & RABIN, B. R. - 1956 - „The chelation of metal ions by dipeptides and related compounds", *Biochim. Biophys. Acta*, 19, n° 3, *572—574.*

DE KOCK, P. C. - 1955 - „Influence of humic acids on plant growth", *Science*, 121, *473—474.*

DELSAL, J. L. & MANHOURI, H. - 1955 - „Etude comparative des dosages colorimétriques du phosphore. Recherche d'une méthode de haute sensibilité applicable au dosage du phosphore organique dans les spots après chromatographie", *Bull. Soc. Chim. biol.*, XXXVII, n° 9—10, *1041—1054.*

DIENERT, F. - 1912 - „Eaux douces et eaux minérales", I vol. 363 pages.

DIENERT, M., GUILLERD, A., ETRILLARD, P. & WANDENBULKE, F. - 1935 - „Alimentation en eau des villes", I vol. 234 pages.

DROOP, M. R. - 1957 - „Vitamin B12 in Marine Ecology", *Nature Lond.*, 180 *1041—1042.*

DUGGELI, M. - 1939 - „Ergebnisse bei der bakteriologischen Untersuchung der dem Stausee Waggital enthobenen Wasser und Schlammproben", *Z. Hydrol.*, 8, *207.*

DUVAL, C. - 1956 - „Traité de microanalyse minérale", 4 tomes, Presses Scientifiques internationales.

FISHER, R. A. - 1936 - „Statistical Methods for Research Workers", 6th Ed., London: Olivier & Boyd.

FITCH, C. P., BISHOP, L. M., BOYD, W. L., GORTNER, R. A., ROGERS, C. F. & TILDEN, J. E. - 1934 - „Water-bloom as a cause of poisoning in domestic animals", *Cornell Veterinarian*, 24, *1—40.*

FRED, E. B., WILSON, F. C. & DAVENPORT, A. - 1924 - „The distribution and significance of bacteria in Lake Mendota", *Ecology*, 5, *322.*

FREERKSEN, E. & BONICKE, R. - 1951 - „Über antibakterielle Prinzipien in Höheren Pflanzen", *Z. Hyg.*, 132, n° 5, *417—449.*

FUSE, Y. P. - 1947 - „Emploi de l'extrait de Levures dans la culture des algues d'eau douce", *C.R. Acad. Sci., Paris*, 255, *199—201.*

GERLOFF, G. C. & FOLLE SKOOG, - 1957 - „Nitrogen as a limiting factor for the growth of Microcystis aeruginosa in Southern Wisconsin Lakes", *Ecology*, 38, n° 4, *556—561.*

GORHAM, E. - 1955 - „On the acidity and salinity of rain", *Geochimic. Cosmochim. Acta*, 7,*231—239.*

——— 1956 - „On the chemical composition of some waters from the moor house nature reserve", *J. Ecol.*, 44, *375—382.*

——— 1957 - „The chemical composition of lake waters in Halifax County, Nova Scotia", *Limnol. et Oceanogr.*, 2, *12—21.*

——— 1957 - „Chemical composition of rain from Rosscahill in country Galway", *Irish Natural. J.*, XII, n° 6, janvier.

——— 1957 - „The chemical composition of some natural waters in the Cairn Gorm. Strath Spey district of Scotland", *Limnol. and Oceanogr.*, 2, n° 2.

——— 1958 - „The influence and importance of daily wheather conditions in the supply of chloride, sulphate, and other ions to fresh waters from atmospheric precipitation", Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, n° 679, 241, *147—148.*

——— 1958 - „The salt content of some ice samples from Nordaustlandet (North east land), Svalbard", *J. Glaciol.*, 3, n° 23, *181—186.*

GRAHAM, V. E. & YOUNG, R. T. - 1934 - „A bacteriological study of Flathead Lake, Montana", *Ecology*, 15, *101.*

HARVEY, H. W. - 1949 - „Chimie et biologie de l'eau de mer", (trad. de l'Anglais par C. Francis-Boeuf et Cl. Lalou), I vol., Paris.

HASLE, G. R. - 1954 - „The reliability of single observations in phytoplancton surveys", *Nytt. Mag. Bot. Norge*, 2, *121—137.*

HASLER, A. D. & JONES, E. - 1949 - „Demonstration of the antagonistic action of large plants on Algae and Rotifers", *Ecology*, 30, n° 3, *359—364.*

HAYES, F. R. & COFFIN, C. C. - 1951 - „Le phosphore radioactif et les échanges de matières nutritives dans les lacs", *Endeavour*, X, n° 38, *78—81*.

HENRICI, A. T. - 1938 - „Studies of fresh water bacteria. IV. Seasonal fluctuations of lake bacteria in relation to plankton production", *J. Bact.*, 35, *129*.

HERMAN, F. A. & GORHAM, E. - 1957 - „Total mineral material, acidity, sulphur and nitrogen in rain and snow at Kentville, Nova Scotia", Särtryck Tellies n° 2.

HOLSINGER, E. C. T. - 1955 - „The distribution and periodicity of the phytoplancton of three Ceylan lakes", *Hydrobiol.*, 7, n° 1, *25—35*.

HORESKER, B. L., MA, J. S. & HAAS, E. - 1940 - „Methode de dosage colorimétrique du phosphore", *J. biol. Chem.*, 136, *775*.

HUBER-PESTALOZZI, G. - 1938-1950 - „Das Phytoplankton des Süsswassers. Die Binnengewässer", Bd. XVI, Teil. 1, 2, 3, Stuttgart.

HUSTEDT, FR. - 1930 - „Bacillariophyta, Süswasserflora Mitteleuropas von Pascher", H. 10, 2 Aufl. 466 p., Jena.

HUTCHINSON, G. E. - 1950 - „Limnological studies in Connecticut - IX - A quantitative radiochemical study of Phosphorus cycle in Linsley", Pond, *Ecol.*, 31, n° 2, *194—203*.

ICHIOKA, P. S. ARNON, D. I. - 1955 - „Molydbenum in relation to nitrogen metabolism - II - Assimilation of ammonia and urea without molybdenum by Scenedesmus", *Physiol. Plant.*, 8, n° 3, *552—560*.

JAMES, H. R. - 1941 - „Beer's law and the properties of organic matter in lake waters", *Trans. Wisc. Acad. Sci. Arts Lett.*, 33, *73—82*.

JÄRNEFELT, H. - 1958 - „On the typology of the northern lakes", *Verh. int. Limnol.*, XIII, Stuttgart.

JERUSALEMSKI, N. D. - 1932 - „Ein Versuch die Bakterienpopulation des Moskauflusses und seiner Zuflüsse nach der direkten Methode der Bakterioskopie zu untersuchen", *Microbiology*, I, *164*.

JORGENSEN, E. G. - 1956 - „Growth inhibiting substances formed by algae", *Physiol. Plant.*, 9, n° 4, *712—726*.

JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, - 1950 - 42, *52*.
1°. Advances in chemical and colorimetric Methodes by J. J. CONNORS.
2°. The versenate titration for total hardness by HARVEY DIEHL, CHARLES A. GOETZ & CLIFFORD C. HACH.
3°. Total hardness determination by direct colorimetric titration by J. D. BETZ & C. A. NOLL.

KLEIBER, A. - 1894 - „Qualitative and quantitative bakteriologische Untersuchungen des Zürichseenwassers", Inaug. Diss. Zurich (quoted by Fred WILSON & DAVENPORT).

KOBLENC - MISHKE, O. I. - 1955 - „Sur les besoins de certaines algues de la Mer Noire en éléments nutritifs minéraux", *Trudy Inst. Okeanol. S.S.S.R.*, 13, *89—93*.

KOMAROVSKY, B. - 1953 - „A comparative study of the phytoplancton of several fish ponds in relation to some of the essential chemical constituents of the water", *Bull. Res. Counc. Israel*, 2, n° 4, *379—410*.

KOZHOV, M. M. - 1955 - „Modifications saisonnières et annuelles du plancton du lac Baikal", *Trudy vsesojuzn gidrobiol. Olshch. S.S.S.R.*, 6, *133—57*.

KUFFERATH, H. - 1929 - „La culture des Algues", *Rev. Algol. Paris* IV, n° 1—4, *127—246*.

KUSNETZOV, S. I. & KARZINKIN, G. S. - 1931 - „Direct method for the quantitative study of bacteria in water and some considerations on the causes which produce a zone of oxygen-minimum in Lake Gluboje", *Zbl. Bakt.* (2), 83, *169*.

——— 1956 - „Application of radioactive isotopes in study of processes of photosynthesis and chemosynthesis in Lakes", Proc. Int. Conf. Geneva.

LACHIVER, F. & LELOUP, J. - 1954 - „Microdosage colorimétrique du fer et du cuivre", Technique de laboratoire, Chimie Phy iqu et Chimie Biologique, I vol. 930 pages Masson.

LEFEVRE, M. - 1935 - „Sur la signification des corpuscules trépidants chez les Desmidiées", Vol. du Tricentenaire du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

——— 1937 - „Technique des cultures cloniques de Desmidiées", *Ann. Sci. Nat. Bot.*, 10ème série, 19.

——— 1940 - „Signification et valeur du facteur pH en hydrobiologie", *Bull. Soc. Cent. d'Aquicult.*, *1—7.*

——— 1941 - „Recherches hydrobiologiques sur les Rivières Mares et Etangs du Domaine National de Rambouillet", *Bull. Franç. Piscicult.*, n° 122, *1—55.*

——— 1943 - „Un intéressant problème d'Hydrobiologie: l'origine, le métabolisme et l'évolution des Fleurs d'eau", *Rev. Sci.*, 81, *8, 369—376.*

——— 1945 - „Recherches hydrobiologiques sur les étangs de Sologne", *Ann. Stat. Cent. Hydrobiol.*, I, *23—88*, (en collab. avec J. DUCHE et J. SPILLMANN).

——— 1949 - „Sur les propriétés peu connues de certaines Algues d'eau douce et leurs possibilités d'application", *Bull. Soc. Bot. Nord de la France*, 2, n° 3, *86—89.*

——— 1950 - „Aphanizomenon gracile lemm. cyanophyte défavorable au zooplancton", *Ann. Stat. Cent. Hydrobiol Appli.*, 3, *205—208.*

——— 1958*a* - „De l'influence des matières organiques sur la nature et l'abondance du plancton", sous presse au *Bull. Stat. Cent. Hydrobiol. Appl.*

——— 1958*b* - „Contribution à la connaissance des Bactéries des collections d'eau stagnantes et de leur rôle en hydrobiologie", *Hydrobiol.*, XII *55—72.*

LEFEVRE, M. & FARRUGIA, G. - 1956 - „Sur quelques propriétés des eaux de ruissellement contribuant au remplissage des mares et étangs", *C.R. Acad. Sci.*, Paris 242, *1915—1917.*

LEFEVRE, M. & FARRUGIA, G. - 1958 - „De l'influence sur les Algues d'eau douce des produits de décomposition spontanée des substances organiques d'origine animale et végétale", *Hydrobiol.* X, *49—65.*

LEFEVRE, M. & JAKOB, H. - 1949 - „Sur quelques propriétés des substances actives tirées des cultures d'Algues d'eau douce", *C.R. Acad. Sci., Paris* 229, *234—236.*

LEFEVRE, M. JAKOB, H. & NISBET, M. - 1950 - „Sur la secrétion par certaines Cyanophytes de substances algostatiques dans les collections d'eau naturelles", *C.R. Acad. Sci., Paris* 230, *2226—2227.*

LEFEVRE, M. & NISBET, M. - 1948 - „Sur la secrétion par certaines espèces d'Algues de substances inhibitrices d'autres espèces d'Algues", *C.R. Acad. Sci., Paris* 226, *107—109.*

LOISELEUR, J. - 1954 - „Microdosage du phosphore", Techniques de laboratoire, Chimie Physique et Chimie Biologique, I vol. 930 pages, Masson.

MACKERETH, H. - 1957 - „Chemical analysis in ecology illustrated from lake district tarns and lakes", *Proc. Linn. Soc. London*, Sess. 167, 1954—55, Pt2.

MACKINNON, A. F. - 1950 - „Rapport sur l'intoxication par des Algues", *Canad. J. comp. Med.*, 14, n° 6, *208.*

MANUAL ON INDUSTRIAL WATER - 1954 - published by the American Society for testing Materials, Philadelphia.

MASON, M. F. & WHEELER, R. E. - 1942 - „Observations upon the toxicity of blue green Algae", *Proc. Fed. Amer. Soc. exp. Biol.*, I, *124*.

MESTAYER, H. - 1950 - „Méthodes de dosages volumétriques du calcium et du magnesium", *L'eau*, n° 6, *85*.

MILTON, R. F. & WATERS, W. A. - 1955 - „Methods of quantitative microanalysis", Edward Arnold (Publishers) London.

MINDER, L. - 1920 - „Zur Hydrophysik des Zürich und Walensees, nebst Beitrag zur Hydrochemie und Hydrobakteriologie des Zürichsees", *Arch. Hydrobiol. Plankt.*, 12, *122*.

——— 1927 - „Über den Bakteriengehalt des Zürichsees", *Z. naturf. Ges. Zürich*, 72, *354*.

MOLLIEX - 1924 - „Analyse chimique des eaux potables", Lefrançois.

MONER, J. G. - „Evidence for a swarming substance which stimulates colony formation in the development of Pediastrum duplex Meyen", 1954, *Biol. Bull. U.S.A.*, 107, n° 2, *236—46*.

NIELSEN, E. S. - 1955 - „An effect of antibiotics produced by plancton algae", *Nature, Lond.*, 176, n° 44 81, *553*.

NISBET, M. & JAKOB, H. - 1949 - „Action des substances excrétées en culture, par certaines espèces d'Algues, sur le métabolisme d'autres espèces d'Algues", *Verh. Int. Ver. theor. angew. Limnol.*, 10, *259—264*.

OSBORN, E. M. - 1943 - „On the occurrence of antibacterial substances in green plants", *Brit. J. exp. Path.*, 24, *227—231*.

OSTERTAG, N. & RICK E. C. R. - 1951 - „Effect of other ions on the colorimetric determination of calcium by murexide" *Water pollution Abstr.* 24, n° 4, abs. *435*.

PACAUD, A. - 1934 - „Matière organique dissoute et répartition de Moina brachiata Jurine", *C.R.S. Soc. Biol.*, CXV, *1164*.

——— 1939 - „Contribution à l'étude des Cladocères", Supplément au *Bull. Biol. France et Belgique*.

PASCHER, A. - 1927 - „Die Süsswasser-Flora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz", Jena, 1913—1927.

PFENNIGER, A. - 1902 - „Beiträge zur Biologie des Zürichsees", *Z. Gewasserk.*, 6, *321*.

PRATT, R. - 1938 - „Influence of auxine on the growth of Chlorella vulgaris", *Amer. J. Bot.*, 25, *498—501*.

PRATT, R. - 1942 - „- V - Some properties of the growth inhibitor formed by Chlorella cells", *Amer. J. Bot.*, 29, n° 2, *142—148*.

PRATT, R. & FONG, J. - 1940 - „Farther evidence that Chlorella cells form a growth inhibiting substance", *Amer. J. Bot.* 27, n° 6, *431—436*.

PRESCOTT, G. W. - 1948 - „Objectionable algae with reference to the killing of fish and other animals", *Hydrobiol.*, 1, 1, *1—13*.

PRINGSHEIM, E. G. - 1946-1949 - „The biphasic or soil-water culture method for growing Algae and Flagellate", *J. Ecol.*, 33, *193—204*.

——— „Pure culture of Algae", Cambridge University Press, 119 pages.

RESUMOW, A. S. - 1932 - „Die direkte Methode der Zählung der Bakterien im Wasser und ihre Vergleichung mit der Koch' sehen Plattenkultur-Methode", *Microbiology*, 1, *145*.

ROUND, F. E. - 1956 - „The phytoplancton of three water supply reservoirs in central Wales", *Arch. Hydrobiol.* 52, n° 4, *457—469*.

ROSSUM, J. R. & VILLARUZ, - 1949 - „Rapid methods for total hardness in water", *W. tr. and Sew. Wks*, 96, *391*.

RUTTNER, F. - 1932 - „Anhang zu Beiträge zur Bakteriologie der Lünzer Seen", *Int. Rev. Hydrobiol.*, 26, *431.*

SAUNDERS, W. - 1957 - „Interrelations of dissolved organic matter and pH Phytoplancton", *Bot. Rev.*, 23, n° 6, *389—410.*

SCHWARZENBACH, G., BIEDERMANN, W. & BANGERTER F., - 1946 - „Komplexone VI - Neue einfache Titriermethoden zur Bestimmung der Wasserhärte", *Helv. Chim. Acta*, XXIX, *811.*

SHAPIRO, JOSEPH - 1957 - „Chemical and biological studies on the Yellow Organic Acids of Lake Water", *Limnol. and Oceanography*, 11, n° 3, July.

SKOJINCEV, B. A. & KRYLOVA, L. P. - 1955 - „Résultats de l'étude de quelques problèmes de la dynamique des substances organiques dans les eaux naturelles", *Trudy vsesokuzn gidrobiol. Obshch S.S.S.R.*, 6, *38—45.*

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE - 1946 - Amer. Public. Health Assoc., 9th Ed.

STARKW, H. & MCCOY, E., 1938, „Distribution of bacteria in certain lakes of northern Wisconsin", *Zbl. Bakt.* (2), 98, 201.

STEPHENS, E. L. - 1948 - „Microcystis toxica, sp. nov., a poisonous alga from the Transvall and Orange Free State", *Trans. Roy. Soc. S. Africa*, 32, *105—112.*

STEWART, A. G., BARNUM, D. A. & HENDERSON, J. A., 1950, „Intoxication par des Algues dans l'Ontario", *Canad. J. Comp. Med.*, 14, n° 6, *197—202.*

SYMOENS, J. J. - 1957 - „Les eaux douces de l'Ardenne et des régions voisines: les milieux et leur végétation algale", *Bull. Soc. r. Bot. Belge*, 89, n° 6, *111—134.*

SYMPOSIUM D'HYDROBIOLOGIE - 1941.

TAYLOR, C. B. - 1939 - „Bacteria of lakes and impounded waters", *Brit. Water Wks Ass. Off. Circ.*, 21, *617.*

——— 1948, „Etude bactériologique des lacs", *Endeavour* VII, n° 27, 111—115.

TAYLOR, E. W. - 1949 - „The examination of waters and water supplies" 6th Ed. Philadelphia, Blakiston, 819 pages.

TILLMANS, J. - 1932 - „Die Chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser", Halle.

TOUPLAIN, F. - 1922 - „Analyse générale des eaux", I vol. 244 pages.

TREADWELL, F. P. & W. D. - 1948 - „Manuel de chimie analytique", Dunod, 2 tomes.

TRESCHOW, CECIL VON & GABRIELSEN, E. K. - 1933 - „Zur Bestimmung von Nitrat in Pflanzen und Böden", *Z. Pflan.*, Teil A, 32. Band, Feft 5/6, *376.*

VILLERET, S. - 1953 - „Etude hydrobiologique de quelques mares des environs de Rennes", *Bull. Soc. Sci. Bretagne*, 28 n° 1, *87—111.*

——— 1955 - „Contribution à la biologie des Algues des tourbières à Sphaignes", Thése de Doctorat.

VINCENT - 1948 - „Antibiotiques des végétaux supérieurs", *Prod. Pharm. Fr.*, 3, *341—348*, 3, *391—398.*

VOTINCEV, K. K. - 1955 - „La répartition verticale et le dynamisme saisonnier des substances organiques dans le lac Baikal", *Dokl. Akad. Nauk S.S.S.R.*, 101, n° 2, *349—362.*

WAKSMAN, SELMAN A. - 1941 - „Aquatic bacteria in relation to the cycle of organic matter in lakes", Symposium on Hydrobiology, 1941.

1948 - „Antagonismes microbiens et substances antibiotiques", Traduction française de J. DUCHE, 1 vol. Paris.

WEST, W. & G. S. - 1923 - „British Desmidiaceae", 5, London.
WILBAUX, R. - 1952 - „Dosage des matières organiques dans les eaux *Bull. agr. Congo Belge*, XLIII, n° 3.
WOLF, G., FALLAB, S. & ERLENMEYER, H. - 1955 - „Über das Cu2 + — Bindungsvermogen einiger Aminosäuren und Peptide Metallionen und Biologische Wirkung", *Exp. Suisse*, 11, 2, *440—442*.
WURTZ, A. - 1949 - „Propriétés particulières d'une fleur d'eau de Cyanophycées: Microcystis aeruginosa Kütz", *Bull. Soc. Bot. de France*, 96, Février.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

"Transformations des substances organiques par les bactéries dans les eaux douces"

Vu et approuvé:

Paris, le 17 novembre 1958
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

J. PÉRÈS

Vu
et Permis d'imprimer:
Le Recteur de l'Académie de Paris

JEAN SARRAILH